



Schlussbericht

PLUSQUA

Grenzen und Lösungen zur Erreichung von
möglichst tiefen und ausgeglichenen
thermischen und elektrischen Lasten in
städtischen Quartieren mit Fokus auf
Massnahmen für einzelne Gebäude



Datum: 04. Oktober 2016

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Amt für Hochbauten Stadt Zürich, Lindenhofstrasse 21, CH-8021 Zürich

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch/zig

aardeplan ag
Architekten ETH SIA
Mühlegasse 18e
6340 Baar
www.aardeplan.ch

Autoren:

Stefan Brücker, HSLU, stefan.bruecker@hslu.ch
Stefan Gassmann, aardeplan, stefan@aardeplan.ch
Diego Hangartner, HSLU, diego.hangartner@hslu.ch
Manfred Huber, aardeplan, manfred@aardeplan.ch
Urs-Peter Menti, HSLU, urs-peter.menti@hslu.ch

BFE-Bereichsleitung:	Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
BFE-Programmleitung:	Rolf Moser, moser@enerconom.ch
BFE-Vertragsnummer:	SI/500988-01 / 8100083

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

In diesem Forschungsprojekt wurde untersucht, welchen Mehrwert die Quartierbetrachtung bei der Festlegung von Massnahmen gegenüber der Betrachtung von Einzelgebäuden bieten kann. Am Ausgangspunkt der Untersuchungen steht die Hypothese, dass Quartierlösungen durch Synergienutzung und der teilweise komplementären Eigenschaften der verschiedenen Nutzungen einen Mehrwert erzielen können. Die zentrale Forschungsfrage lautet: „Inwiefern können dank quartierinterner Vernetzung und durch technische oder architekturtypologische Massnahmen die thermische und elektrische Netzbelastung an der Quartiergrenze und der jährliche Energiebedarf minimiert werden?“ Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden die folgenden Szenarien untersucht: Änderung des Nutzungsmix, Verdichtung, Erneuerung, Dezentrale Energieerzeugung (PV) und Speicherung. Die Änderung des Nutzungsmix wie auch die Verdichtung werden als architekturtypologische (raumplanerische) Massnahmen am Quartier betrachtet. Die restlichen Szenarien werden als Massnahmen am Einzelgebäude betrachtet.

Es zeigt sich, dass eine strikte raumplanerische Trennung von Wohnbauten und Bürobauten heutzutage aus Gründen der Netzbelastung und Energiebedarfs nicht mehr sinnvoll ist. Thermisch kann beispielsweise Abwärme aus Verwaltungsgebäuden genutzt werden, um den Wärmebedarf an Heizung und Warmwasser von Wohnbauten abzudecken. Elektrisch können die Strompeaks auf der Netzebene ausgeglichen werden, da sie zwischen Wohnnutzung und Büronutzung gestaffelt auftreten. Die Studie untersucht und benennt damit das Potential der verschiedenen Interventionsmöglichkeiten. So reduziert eine Verdichtung im Quartier (+ 50 % EBF), die spezifische jährliche Lastspitze thermisch um 10 % und elektrisch um 17 %.

Résumé

Le but de ce projet de recherche était d'estimer la plus-value d'une considération à l'échelle d'un quartier lors du développement de plans d'assainissement par rapport à la prise en compte individuelle de bâtiments isolés. L'hypothèse de départ supposait que les solutions qui se profilent à l'échelle de quartiers sont plus avantageuses de par les synergies et les complémentarités entre les différentes catégories d'ouvrages. La question centrale de ce projet de recherche a ainsi été de pouvoir déterminer dans quelle mesure est-ce que les charges du réseau et les besoins en énergie thermique et électrique peuvent-ils être réduits au sein d'un quartier par rapport à une considération à l'échelle de bâtiments individuels. Diverses solutions telles que la mise en réseau ou la mise en œuvre de mesures techniques ou architecturales à l'échelle du quartier ont été étudiées. L'étude analyse et démontre le potentiel des différents scénarios d'interventions définis: variation des catégories d'ouvrages, densification, assainissement, production d'énergie décentralisée (PV) et stockage. Les scénarios „variation des catégories d'ouvrages“ et „densifications“ sont considérés comme des mesures architecturales à l'échelle du quartier (planification territoriale). Les autres scénarios sont considérés comme des mesures individuelles à l'échelle des bâtiments.

Les résultats montrent qu'une séparation stricte entre les différentes catégories d'ouvrages au sein du quartier n'est pas justifiée car en termes d'efficacité énergétique notamment, la chaleur fatale des bâtiments administratifs peut par exemple être utilisée pour couvrir les besoins de chaleur des bâtiments d'habitations. En ce qui concerne les charges du réseau, les pointes d'électricité peuvent s'équilibrer grâce à l'échelonnement des différents profils entre habitats et bureaux. L'analyse du potentiel des différents scénarios montre en outre que des mesures de densification (+ 50% SRE) peuvent réduire de 10% la pointe spécifique des besoins annuels thermiques, respectivement de 17% pour les besoins annuels électriques.



Summary

In this research project, the added-value of taking measures at neighbourhood scale, instead of building scale, was analysed. The starting point of the analysis was set by the hypothesis that neighbourhood solutions can bring advantages due to synergy effects and complementary characteristics of the utilisation mix. The research question was: "To which extend are neighbourhoods able to reduce thermal and electrical loads and energy consumption by networking, technical, or architectural measures." In order to answer this question the following scenarios were analysed: change of the utilisation mix, densification, renovation, decentralised energy production (PV), and storage. The change in utilisation mix and densification can be considered as architectural (spatial planning) measures at neighbourhood scale. The remaining scenarios are considered as measures at building scale.

The study finds that nowadays a stringent separation of residential and office buildings in spatial planning is not appropriate anymore for reasons of network loads and energy consumption. In mixed neighbourhoods waste heat from office buildings can be used in residential buildings in order to cover the heat demand. Electricity peaks can be shaved by residential and office buildings on the same network level, thanks to asynchronously occurring peaks. This study analysed and determined the potential of the different intervention measures. A densification in the neighbourhood (+ 50% ERS, energy reference surface) brings an annual specific reduction of the thermal peaks of 10% and an annual specific reduction of the electrical peaks of 17%.



Dank

Die Autoren möchten dem Bundesamt für Energie und der Stadt Zürich recht herzlich für die grosse Unterstützung danken. Neben der finanziellen Unterstützung, welche das Projekt erst ermöglichte, waren die differenzierten Rückmeldungen von Annick Lalive (Stadt Zürich), Rolf Moser (BFE) und Robert Schürch (WWZ) sehr wertvoll.

Herzlichen Dank gilt auch den externen Fachleuten Franz Sprecher, Thomas Kessler und Roland Wagner (Amt für Hochbauten der Stadt Zürich), Prof. Dr. Jürg Bichsel und Dr. Monika Hall (FHNW), sowie Peter Toggweiler als Photovoltaik Experte (Basler&Hofmann) für ihre fachlichen Inputs.

Intern bekamen wir grosse Unterstützung von Prof. Matthias Sulzer, Adrian Altenburger und Stefan Mennel durch ihre vielfältigen Rückmeldungen, welche wir sehr zu schätzen wissen.



Inhaltsverzeichnis

Management Summary	8
Glossar	13
1 Ausgangslage	16
2 Forschungsfrage	17
3 Hypothesen	18
3.1 Nutzungsmix	18
3.2 Verdichtung	18
3.3 Effizienz (Erneuerung)	18
3.4 Dezentrale Erzeugung	18
3.5 Speicherung	18
4 Kriterien für die Beurteilung	19
4.1 Leistung – höchster Tagesmittelwert im Jahr.	19
4.2 Energie – Nutzenergie und Primärenergie nicht erneuerbar	19
5 Vorgehen	20
5.1 Arbeitspaket 1: Recherchen und Evaluation typisches Quartier	20
5.2 Arbeitspaket 2: Quartieranalyse und Erarbeitung Szenarien	20
5.3 Arbeitspaket 3: Berechnungen und energetische Bilanzierungen	20
5.4 Arbeitspaket 4: Massnahmenkatalog und Bericht	20
6 Charakterisierung und Auswahl Quartier	21
6.1 Charakterisierung des Quartiers	21
6.2 Auswahl des Quartiers	23
6.3 Quartieranalyse „Cham Ost“	24
6.4 Infrastrukturen im Quartier „Cham Ost“	30
7 Analyse thermisch-elektrisch	35
7.1 Methodik	35
7.2 Heiz- und Kühllasten	35
7.3 Stromlastprofile	37
7.4 Stromproduktionsprofile	38
7.5 Rechentool	39



8	IST-Zustand Quartier	40
8.1	Nutzungsmix Heute.....	40
8.2	Überblick Energieverbrauch.....	40
8.3	Thermisches Lastprofil.....	44
8.4	Elektrisches Lastprofil	46
9	Überblick Szenarien	47
10	Ergebnisse Szenarien	48
10.1	Nutzungsmix	48
10.2	Verdichtung.....	52
10.3	Effizienz (Erneuerung)	54
10.4	Dezentrale Erzeugung	60
10.5	Speicherung	65
11	Zusammenfassung der Ergebnisse	69
12	Massnahmenkatalog	73
12.1	Massnahmen am Einzelgebäude	73
12.2	Massnahmen im Quartier.....	73
12.3	Massnahmen am Einzelgebäude und im Quartier.....	74
13	Fazit.....	75
14	Ausblick.....	76
15	Anhang.....	77
15.1	Simulationsgrundlagen	77
15.2	Gebäudekategorien	78
15.3	Thermische Lastprofile.....	85
15.4	Elektrische Verbrauchsprofile	87
15.5	Elektrische Produktionsprofile PV.....	88
15.6	Überblick Energieverbrauch und -produktion im Quartier „Cham Ost“	89
15.7	Nutzungsmix	90
15.8	Verdichtung.....	91
15.9	Effizienz (Erneuerung)	92
15.10	Dezentrale Erzeugung	95
16	Literaturverzeichnis	99



Management Summary

Positive Jahresenergiebilanzen in Einzelgebäuden werden oft als Lösung für die zukünftige Energieversorgung angepriesen. Nach heutiger Kenntnis sind „Plusenergiebilanzen“ insbesondere bei mehrgeschossigen Bauten in dicht bebauten Siedlungen schwierig zu erreichen und aufgrund der unter Umständen hohen Netzbelastung nicht zwingend erstrebenswert (Bucher, 2014).

In diesem Projekt wird untersucht, welchen Mehrwert die Quartierbetrachtung bei der Festlegung von Massnahmen gegenüber der Betrachtung des Einzelgebäudes bieten kann. Am Ausgangspunkt der Untersuchungen steht die Hypothese, dass Quartierlösungen durch Synergienutzung und der teilweise komplementären Eigenschaften der verschiedenen Nutzungen einen Mehrwert erzielen können.

Forschungsfrage

Inwiefern können dank quartierinterner Vernetzung und durch technische oder architekturtypologische Massnahmen die thermische und elektrische Netzbelastung an der Quartiersgrenze und der jährliche Energiebedarf minimiert werden?

Nachdem ein typisches Quartier der Schweiz mit städtischem Charakter identifiziert wurde („Cham Ost“) und die thermischen und elektrischen Lasten dieses Quartiers bestimmt waren, wurden zur Beantwortung der Forschungsfrage verschiedene Szenarien untersucht:

- Nutzungsmix

Beim Nutzungsmix wurden die Auswirkungen einer Substitution von 20% resp. 50% aller Flächen mit Nutzung Verwaltung durch Bauten der Nutzung Wohnen untersucht.

- Verdichtung

Bei der Verdichtung wurden die Auswirkungen des Zuwachs von 20% resp. 50% Energiebezugsfläche (EBF) im Neubaustandard untersucht.

- Effizienz (Erneuerung)

Bei den Effizienzmassnahmen wurden die Auswirkungen einer Erneuerung von 20% resp. 50% des Gebäudebestandes auf den Hüllen-Neubaustandard untersucht; die Auswertung erfolgte einmal bei flächendeckendem Einsatz von fossilen Energieträgern und einmal bei flächendeckender Versorgung mittels Wärmepumpen.

- Dezentrale Energieerzeugung

Der Einfluss von PV-Anlagen wurde untersucht, einmal bei 100% Einsatz von fossilen Energieträgern und einmal bei 100% Einsatz von Wärmepumpen.

- Speicher

Der Einfluss eines idealen thermischen oder elektrischen Tagesspeichers (unbegrenzte Kapazität und Leistung; verlustfrei) für das gesamte Quartier wurde untersucht.

Die Änderung des Nutzungsmix' und die Verdichtung sind raumplanerische Massnahmen, die nur auf Quartierebene betrachtet werden können. Die Erneuerung der Gebäude und der Ersatz fossiler Energieträger wird auf Ebene der einzelnen Gebäude umgesetzt, die Bilanzgrenze Quartier erlaubt einen zusätzlichen Blickwinkel in der Bewertung. Dezentrale Energieerzeugung und Speicherung können je nach Grösse der Anlage auf Quartierebene oder im Einzelgebäude realisiert werden.

In Abbildung 1 und Abbildung 2 werden die untersuchten Szenarien bezogen auf den höchsten Tagesmittelwert thermischer und elektrischer Leistung im Jahr verglichen. Es werden keine maximalen Stundenwerte betrachtet, da diese stark von der Regelstrategie der Gebäudetechnik abhängen.

Leistung thermisch

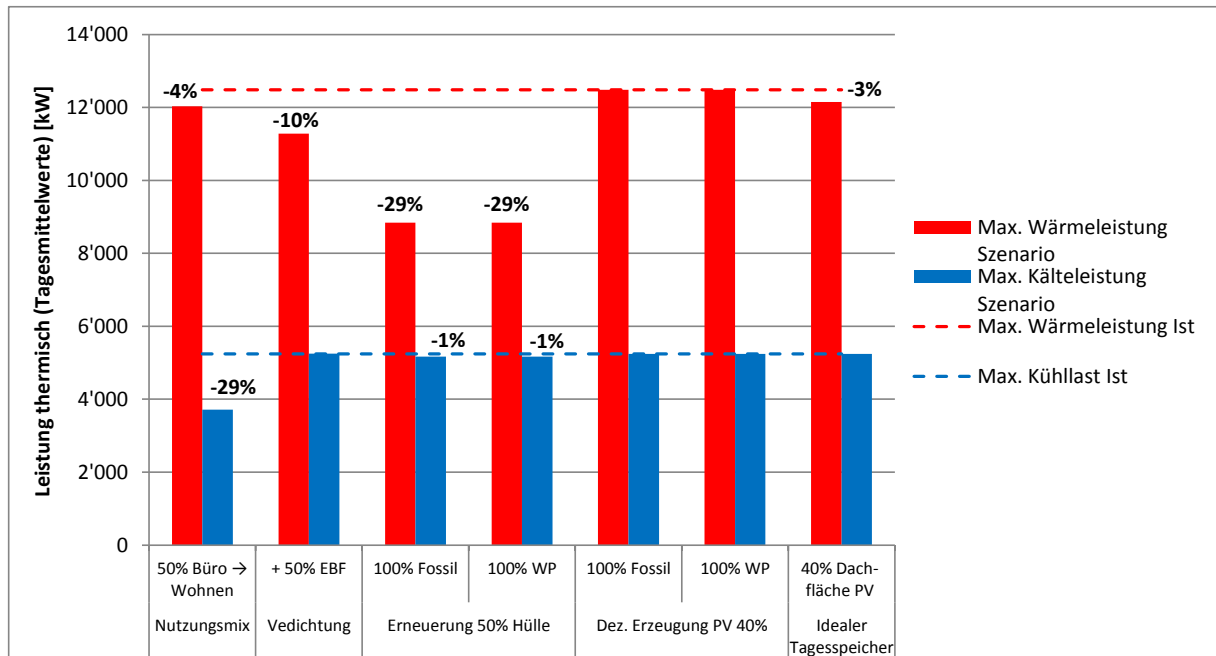


Abbildung 1: Höchster Tagesmittelwert der thermischen Lasten über ein Jahr für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zu den heutigen Lasten (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.

Leistung elektrisch

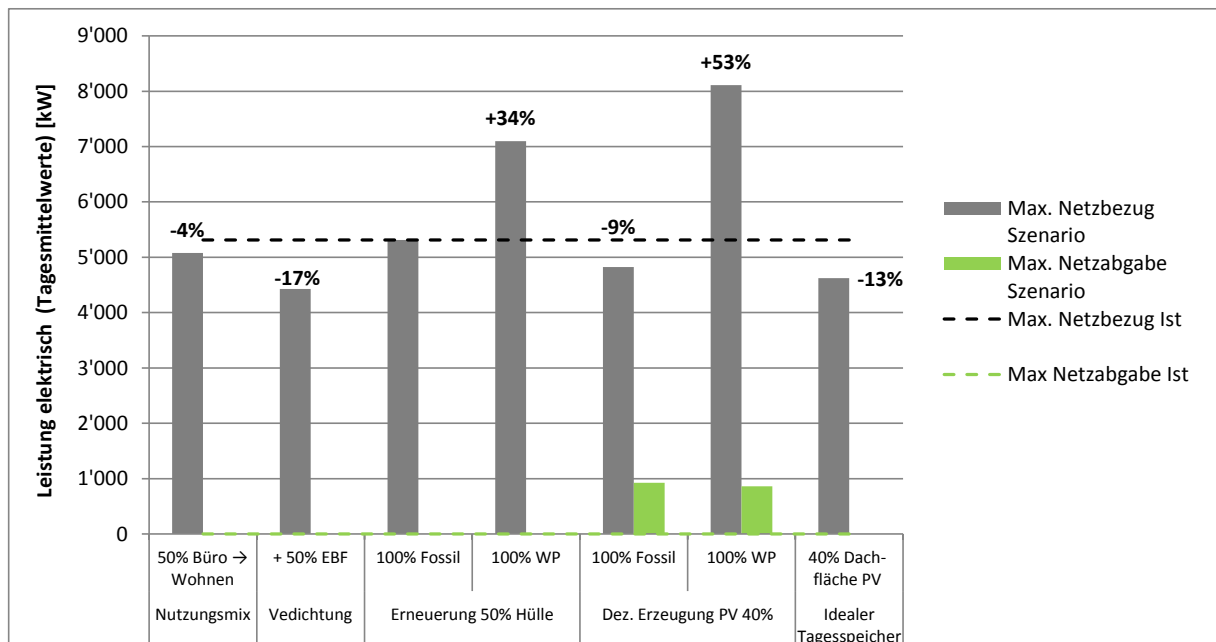


Abbildung 2: Höchster Tagesmittelwert der elektrischen Lasten übers Jahr für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zu den heutigen Lasten (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.

Entsprechend zur Leistung werden in Abbildung 3 und Abbildung 4 die untersuchten Szenarien bezüglich des Energiebedarfs verglichen. Der Energiebedarf thermisch und elektrisch ergibt sich aus der Summe der Stundenleistungen über das Jahr.

Energie thermisch

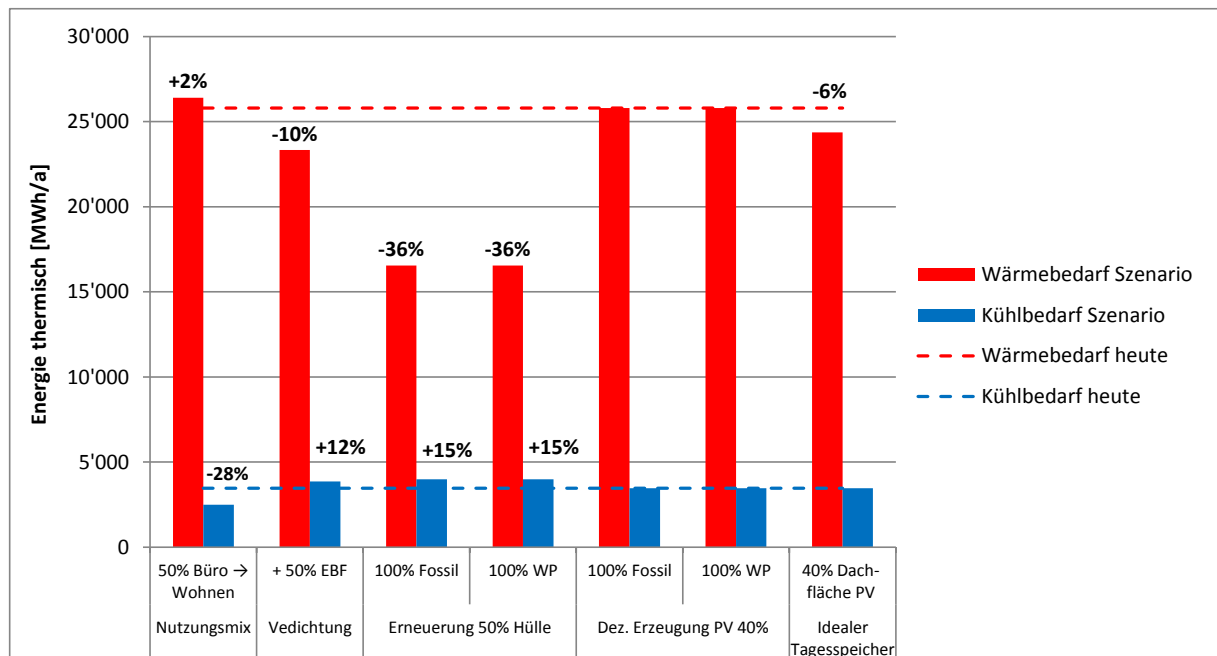


Abbildung 3: Heiz- und Kühlenergiebedarf des Quartiers „Cham Ost“ für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zum heutigen Heiz- und Kühlenergieverbrauch (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.

Energie elektrisch

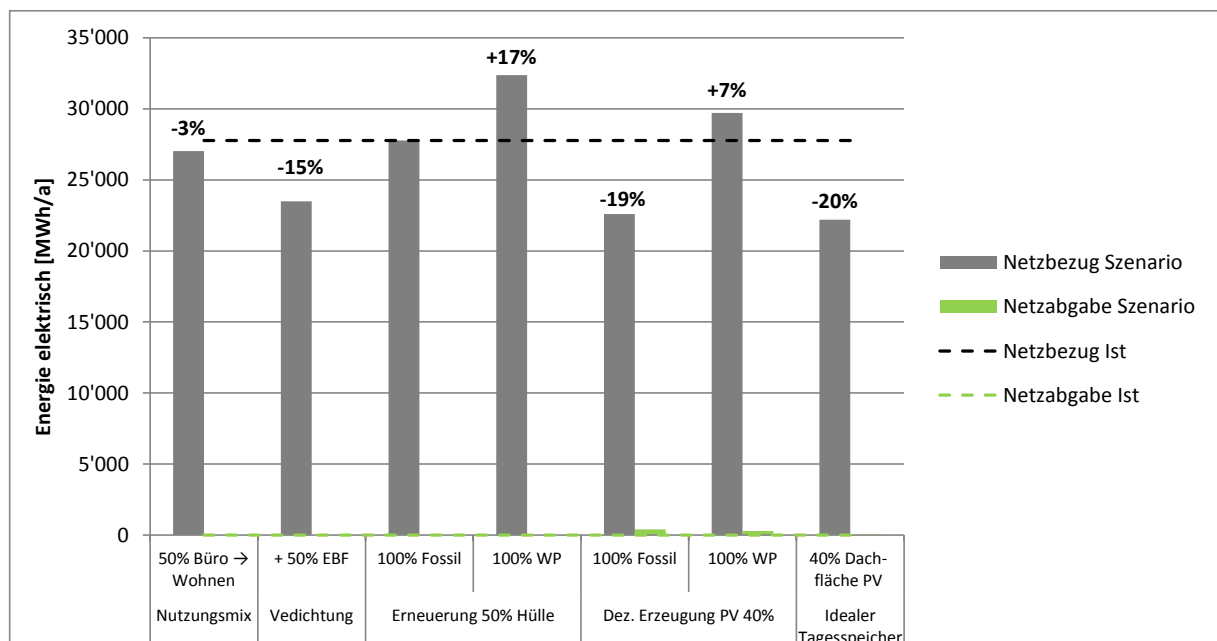


Abbildung 4: Stromverbrauch und Stromproduktion des Quartiers „Cham Ost“ für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zum aktuellen Heiz- und Kühlenergieverbrauch (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.



Resultate

Thermisch

- Die Substitution von 50% aller Flächen mit Nutzung Verwaltung durch Bauten der Nutzung Wohnen reduziert trotz erhöhtem Heizwärmebedarf die Heizlasten um 4%, da Wohnbauten mit höherer Speichermasse und anderem Lastgangverhalten in der Lage sind, die thermische Last übers Quartier betrachtet zu dämpfen.
- Dank der Verdichtung und folgend einer Verbesserung des mittleren energetischen Standards der Gebäude im Quartier wird eine Reduktion von 10% beim Leistungs- und beim Energiebedarf erzielt. Ein positiver Effekt ist auch bei der Kälte festzustellen: Obwohl der Kältebedarf um rund 12% höher liegt, bleibt die Leistungsspitze unverändert.
- Die grösste Leistungs- und Energiebedarfsreduktion liefert nicht überraschend das Szenario mit der Erneuerung von 50% der Gebäudehüllen des Bestands (Neubaustandard 2010). Die Leistungsspitzen werden dadurch um 29% reduziert, der Energiebedarf um 36%.
- Mit Hilfe eines idealen Tagesspeichers kann Abwärme aus der Kälteproduktion zu Heizzwecken wiederverwendet werden. Die Heizleistung wird dadurch um 3% reduziert und der Heizwärmebedarf um 6%. Nur rund 40% der anfallenden Abwärme werden mit dem Tagesspeicher genutzt, da die Abwärme nicht deckungsgleich mit dem Wärmebedarf (Raumheizung und Warmwasser) anfällt, vor allem im Sommer.

Elektrisch

- Die Änderung von 50% Büroflächen in Wohnbauten reduziert die Leistungsspitzen und den Energiebedarf an der Grenze des Quartiers nur marginal, da die Differenz der spezifischen Energieverbräuche zwischen Wohnnutzung und Büronutzung klein ist.
- Eine Verdichtung führt dank zusätzlichem Wohnanteil gegenüber Gewerbe zu einer Reduktion von 17% bei den Lasten und zu einer Reduktion von 15% beim Energiebedarf.
- Die Sanierung der Gebäudehüllen bewirkt nur beim gleichzeitigen Einsatz einer Wärmepumpe eine Änderung der Lasten und Energiebedarf. Die Leistungsspitzen steigen um 34%, der Strombedarf erhöht sich um 17%. Der grossflächige Einsatz von Wärmepumpen kann deshalb bezüglich Netzbelastung kritisch sein.
- Die Produktion von Strom mittels Photovoltaik erbringt (ohne Lastmanagement) höhere prozentuale Reduktion beim Stromverbrauch als bei den Leistungsspitzen. Grund dafür ist, dass der Eigenverbrauchsanteil im Quartier hoch ist, die Spitzen aber aufgrund zeitlicher Differenzen zwischen Produktion und Bezug nicht zusätzlich gedämpft werden können.
- Der ideale Tagesspeicher reduziert den Energiebedarf um lediglich 1%, bei der Lastspitze ist aber eine Reduktion um 13% möglich.

Weitere Erkenntnisse

- Um die Umbau-Richtwerte gemäss SIA-Effizienzpfad Energie für den Betrieb (Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgas-Emissionen) der Gebäude im Quartier zu erreichen, müssten 50% der Bestandesbauten auf Neubauniveau modernisiert und alle fossilen Wärmeerzeuger durch Wärmepumpen ersetzt werden (Abbildung 5).
- Die Erneuerung der Gebäudehülle bei 20% der Energiebezugsflächen hat die gleiche Wirkung auf die Primärenergiebilanz wie der Ersatz von 50% fossiler Wärmeerzeuger durch Wärmepumpensysteme. Hingegen reduziert der Ersatz der Wärmeerzeugung die Treibhausgase stärker als die Erneuerung der Gebäudehüllen (Abbildung 5).

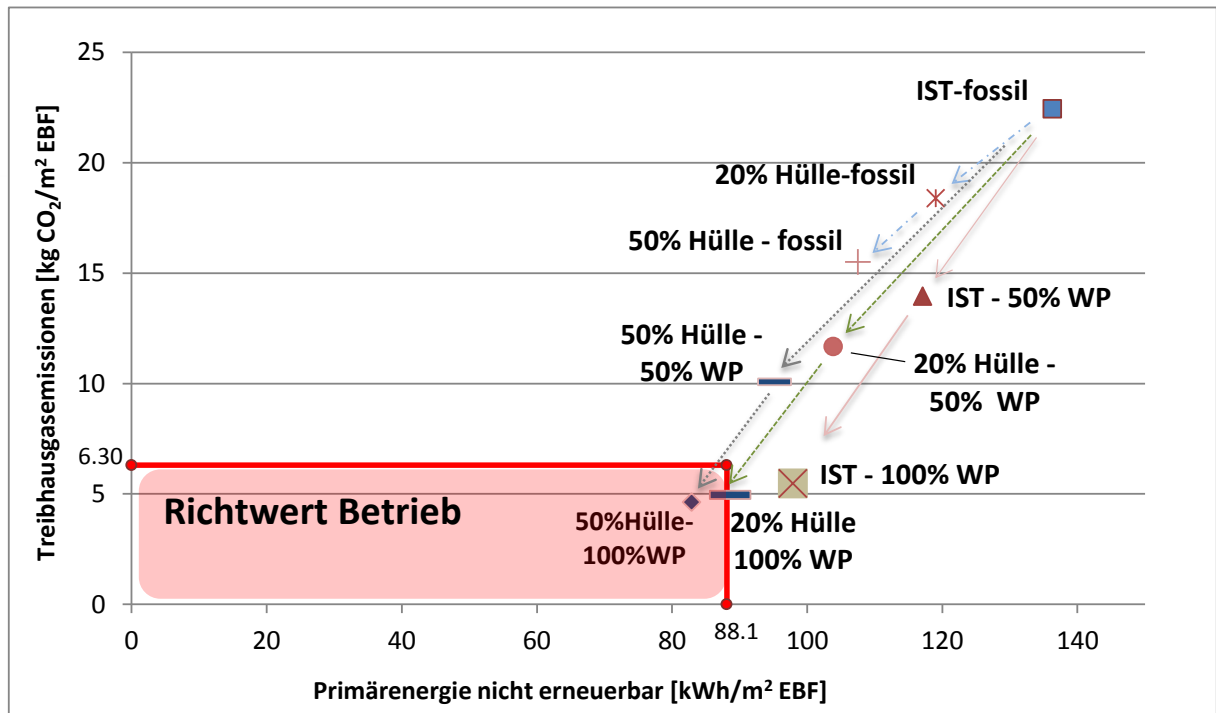


Abbildung 5: Darstellung der verschiedenen Varianten mit den Zielwerten gemäss SIA MB 2040

- Bei einer Belegung von bis zu 30% der vorhandenen Dachflächen mit Photovoltaikanlagen kann die maximale Netzbelastung auf der nächsthöheren Netzebene reduziert werden. Eine höhere Belegung bringt aber bei der Leistungsbetrachtung keine weitere Reduktion der Netzbelastung mehr (Abbildung 6).
- Wird „Cham Ost“ mit all seinen Teilquartieren Allmend, Alpenblick und Mugerer betrachtet, kann festgestellt werden, dass die maximale Netzabgabeleistung auch bei 100% Belegung der Dachflächen kleiner sein wird als die maximale Netzbezugsleistung. Der Ausbau der Photovoltaik führt hier also nicht zu einem erhöhten Kapazitätsbedarf bei den Verteilungen im Quartier (Abbildung 6).

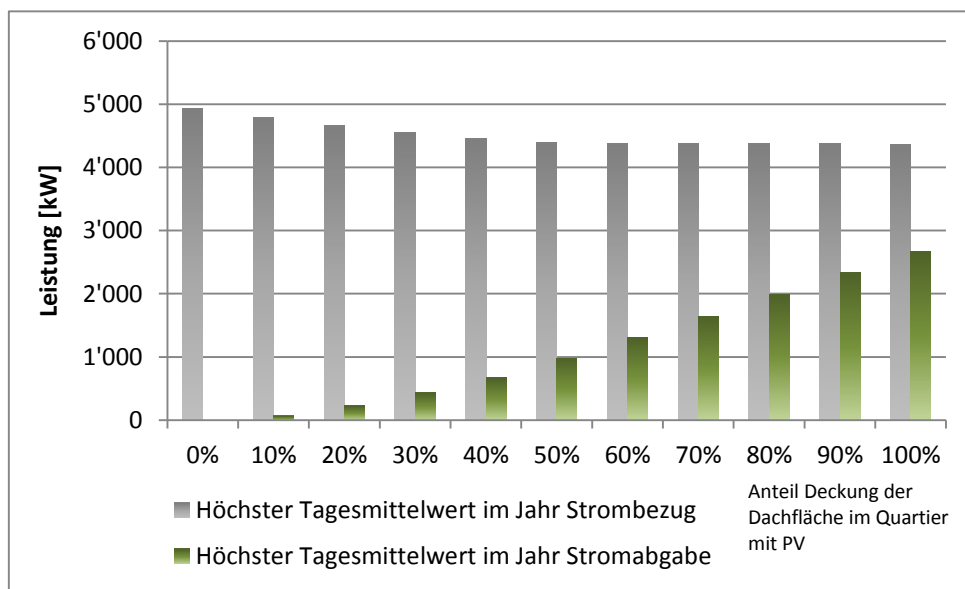


Abbildung 6: Einfluss des PV-Zubaus auf den höchsten Tagesmittelwert übers Jahr im Quartier „Cham Ost“.



Glossar

Quartier

Cham Ost	Für das Forschungsprojekt ausgewähltes Quartier mit typischem städtischem Charakter
Allmend	Teilquartier von „Cham Ost“ mit den Nutzungen: Gewerbe, Dienstleistung, Verwaltung und Verkauf
Alpenblick	Teilquartier von „Cham Ost“ mit Wohnnutzung (Hochhäuser)
Mugeren	Teilquartier von „Cham Ost“ mit vorwiegend Wohnnutzung (Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser).

Begriffe

Abwärmenutzung	Nutzung der Abwärme aus der Klimakälte
Autarkiegrad	Anteil des Stromverbrauchs, der über vor Ort produzierten, erneuerbaren Strom gedeckt wird
Bandlast	Konstante Energielast über eine längere Zeit (meist Jahr)
Dezentrale Energieerzeugung	Lokale Energieerzeugung im Quartier, z. B. mit Photovoltaik
Elektrische Vernetzung	Vernetzung der elektrischen Bezüger, Speicher und Erzeuger
Endenergie	Energie, die dem Verbraucher zur Umsetzung in Nutzenergie zur Verfügung steht. Dazu zählen netto die gelieferte Energie und die am Standort genutzte Energie (SIA 380/1)
Energy Hub	Ein „Energy Hub“ ist eine Schnittstelle (physikalisch oder konzeptuell) wo verschiedene Energieträger umgewandelt bzw. gespeichert werden
Eigenverbrauchsanteil	Anteil des produzierten Stroms einer PV-Anlage, der selbst verbraucht wird bzw. der nicht ins Netz zurückgespeist wird
Gebäudehülle	Grenze des Gebäudes zu seiner Umgebung, speziell in Zusammenhang mit Wärmeverlusten an die Umgebung verwendet (thermische Gebäudehülle)
Graue Energie	Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet
Heizleistung	Leistung, die für das Beheizen der Gebäude erbracht werden muss
Heizwärmebedarf	Wärme, die einem Raum zugeführt werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur aufrechtzuerhalten



Idealer Tagesspeicher	Unendlicher Speicher für die verlustfreie Energiespeicherung über einen Zeitraum von einem Tag
Jahresenergiebilanz	Bilanz der Energie (thermisch oder elektrisch) im Quartier
Klimakältebedarf	Wärme, die dem Raum durch eine Kühlanlage entzogen werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur aufrechtzuerhalten.
Kühlleistung	Benötigte Leistung zum Wärmeentzug aus dem Raum/Gebäude
Maximaler Netzabgabepeak	Höchste Leistung der ins elektrische Netz zurückgespeisten Energie aus lokal erzeugtem Strom
Mittelspannung	Elektrische Netzebene zwischen 1 kV und 52 kV
Netzbelastung	Belastung durch den Bezug von elektrischer Energie aus dem (übergeordneten) Netz ausserhalb des Quartiers
Netzbezug	Bezug von elektrischer Energie aus dem (übergeordneten) Netz ausserhalb des Quartiers
Niederspannung	Wechselspannungen bis 1000 Volt und Gleichspannungen bis 1500 Volt, meist Netzspannung von 230 Volt und 400 Volt
Nutzenergie	Energie, die dem Verbraucher unmittelbar zur Nutzung zur Verfügung steht
Nutzungsmix	Mix verschiedener Nutzungen wie Wohnen, Gewerbe, Verkauf, Verwaltung etc.
Jahresarbeitszahl (JAZ)	Zur Bewertung der energetischen Effizienz eines Wärmepumpenheizungs-systems wird die Jahresarbeitszahl verwendet. Sie gibt das Verhältnis der über das Jahr abgegebenen Wärme zur aufgenommenen elektrischen Energie an
Primärenergie	<p>Form der Rohenergie, die noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandlung und keinem Transport unterworfen worden ist, z.B. Rohöl, Erdgas, Uran oder Kohle in der Erde, Holz im Stand, Solarstrahlung, potenzielle Energie des Wassers, kinetische Energie des Windes. Sie setzt sich zusammen aus der erneuerbaren und der nicht erneuerbaren Primärenergie.</p> <p>Zur Vergleichbarkeit von Betriebsenergie, grauer Energie und induzierter Mobilität wird die Endenergie über Primärenergiefaktoren auf die Stufe Primärenergie umgerechnet (SIA MB 2040).</p>
Primärenergie nicht erneuerbar	Primärenergie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung erschöpft wird, z.B. Uran, Rohöl, Erdgas, Kohle (SIA MB 2040)
Richtwert für Umbauten	Richtwert gemäss SIA Merkblatt 2040 Effizienzpfad Energie für Umbauten.



SIA-Effizienzpfad Energie	Das SIA Merkblatt 2040 Effizienzpfad Energie beschreibt die Anforderungen an Gebäude über Richtwerte für Betrieb, Erstellung/Rückbau und induzierte Mobilität, um die Ziele der 2000-Watt Gesellschaft zu erreichen
Spezifische Heizleistung	Heizleistung pro Quadratmeter Energiebezugsfläche
Spezifischer Heizwärmebedarf	Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Energiebezugsfläche
Strompeak	Maximale elektrische Leistung
Thermische Vernetzung	Vernetzung auf thermischer Ebene zwecks Wärmeaustausch
Thermische/elektrische Speicher	Ideale, verlustfreie Speicher zur Speicherung von thermischer oder elektrischer Energie
Treibhausgasemissionen (THG)	Menge der Treibhausgase (CO ₂ , Methan, Lachgas und weitere klimawirksame Gase), die pro verwendete Energieeinheit in die Atmosphäre emittiert wird. Sie wird als äquivalente CO ₂ -Emissionsmenge ausgedrückt, die denselben Treibhauseffekt wie die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen hat.
Verdichtung	Der Bau von neuen Gebäuden innerhalb bereits bestehender Gebiete, meist nach verändertem Bebauungsplan
Wärmebedarf für Warmwasser	Wärme, die notwendig ist, um die benötigte Menge Wasser auf die Solltemperatur zu erwärmen, absolut oder bezogen auf die Energiebezugsfläche
Wärmeerzeuger	Maschine zur Bereitstellung von Wärme, z.B. Wärmepumpe, Öl- und Gasheizung, Holzheizungen etc.
Wärmekraftkopplung (WKK)	Maschine zur gleichzeitigen Bereitstellung von Wärme und elektrischer Energie.

1 Ausgangslage

Positive Jahresenergiebilanzen in Einzelgebäuden werden heute oft als Lösung für die Energiestrategie 2050¹ genannt. Dies bedingt meist, dass die Einzelgebäude gut bis sehr gut gedämmt werden, eine effiziente Wärmeerzeugung haben und zudem dezentral Strom vor Ort produzieren. Nach heutigem Kenntnisstand sind „Plusenergiebilanzen“ insbesondere bei mehrgeschossigen Bauten in dicht bebauten Siedlungen (Verschattung!) kaum zu erreichen und aufgrund der unter Umständen hohen Netzbelastung (Rückgabe von PV-Produktionsspitzen ins Netz) auch nicht anzustreben (Bucher, 2014).

Sanierungsmassnahmen sollen deshalb nicht auf Stufe Einzelgebäuden, sondern gezielt auf Stufe Quartier betrachtet werden, denn Quartierlösungen können durch Synergienutzung (komplementäre Eigenschaften der verschiedenen Nutzungen) einen Mehrwert erzielen. Möglicherweise lassen sich dieselben Ziele erreichen durch Massnahmen auf Quartiersebene statt am Einzelgebäude. Durch raumplanerische Massnahmen (Verdichtung) und entsprechend geschickte Kombination von Nutzungen ist das Quartier besser in der Lage, die thermischen und elektrischen Lasten zu reduzieren und zu verteilen. Die Quartierbetrachtung bietet zudem weitere Möglichkeiten, mittels Vernetzung und Speicherung die Lasten zu reduzieren und im Quartier produzierte Energie direkt auch im Quartier zu nutzen.

Zielsetzung

Das Ziel des Projekts ist das thermische und elektrische Lastprofil eines typischen Quartiers der Schweiz abzubilden und anhand der bestimmten Lastprofile Szenarien auf ihr Potenzial zur Reduktion der maximalen Lasten, des Energiebedarfs und der THG-Emissionen zu untersuchen.

Aus der Szenarienanalyse sollen wiederum mögliche und sinnvolle Massnahmen für Einzelgebäude abgeleitet werden, um zu zeigen, wie das Einzelgebäude einen maximalen Beitrag an die Optimierung auf Quartiersebene leisten kann.

¹ Die Energiestrategie 2050 impliziert die Energieeffizienz und den vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energien. <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/>

2 Forschungsfrage

Die zentrale Forschungsfrage lautet:

Inwiefern können dank quartierinterner Vernetzung und durch technische, architekturtypologische Massnahmen die thermische und elektrische Netzbelastung an der Quartiersgrenze und der jährliche Energiebedarf minimiert werden?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden auf Quartierebene technische und architektur-typologische Szenarien auf ihr Potential untersucht. Teilweise sind diese Szenarien typische Massnahmen am Einzelgebäude und teilweise typische Massnahmen im Quartier (siehe Abbildung 7).

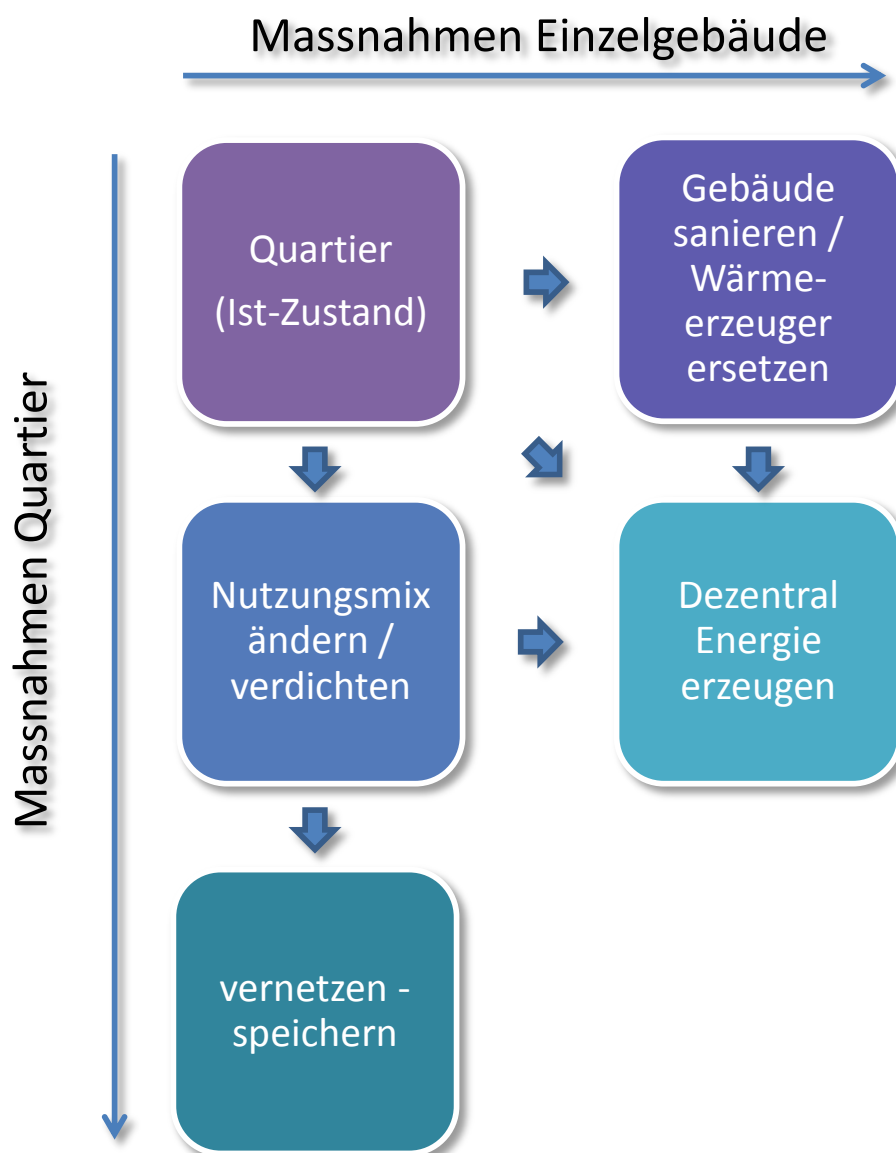


Abbildung 7: Mögliche Handlungsebenen auf Stufe Einzelgebäude und Quartier

Die Änderung des Nutzungsmix' und die Verdichtung sind raumplanerische Massnahmen, die primär auf Quartierebene betrachtet werden können. Die Erneuerung der Gebäude und der Ersatz fossiler Energieträger werden auf Ebene der einzelnen Gebäude umgesetzt, die Bilanzgrenze Quartier erlaubt dabei einen zusätzlichen Blickwinkel in der Bewertung. Dezentrale Energieerzeugung und Speicherung können je nach Grösse der Anlage auf Quartierebene oder am Einzelgebäude realisiert werden.



3 Hypothesen

Zu den einzelnen Szenarien wurden vorgängig Hypothesen formuliert. Die Hypothesen wurden durch die Ergebnisse der Untersuchung entweder bestätigt oder widerlegt.

3.1 Nutzungsmix

Durch die Veränderung des Nutzungsmix' innerhalb des Quartiers kann eine Reduktion und ein Ausgleich der Netzbelastung resp. des Energiebedarfs erzielt werden.

3.2 Verdichtung

Durch eine Verdichtung innerhalb des Quartiers kann eine Reduktion und/oder ein Ausgleich der Netzbelastung resp. des (spezifischen) Energiebedarfs erzielt werden.

3.3 Effizienz (Erneuerung)

Durch Erneuerungsmassnahmen innerhalb des Quartiers (Hülle und/oder Energieträger) kann eine Reduktion und ein Ausgleich der Netzbelastung resp. des Energiebedarfs erzielt werden.

3.4 Dezentrale Erzeugung

Durch den Zubau von dezentralen Strom- und Wärmeproduktionseinheiten im Quartier (z.B. PV, WKK) kann eine Reduktion und ein Ausgleich der Netzbelastung resp. des Energiebedarfs erzielt werden.

3.5 Speicherung

Durch den Einsatz von dezentralen Wärme- und Stromproduktionseinheiten tragen die thermischen und elektrischen Speicher zu einer Reduktion der Netzbelastung bei.

4 Kriterien für die Beurteilung

4.1 Leistung – höchster Tagesmittelwert im Jahr.

Bei allen Szenarien wurden die höchsten Tagesmittelwerte (P_{\max}), thermisch und elektrisch, an der Quartiergrenze ausgewertet (Abbildung 8).

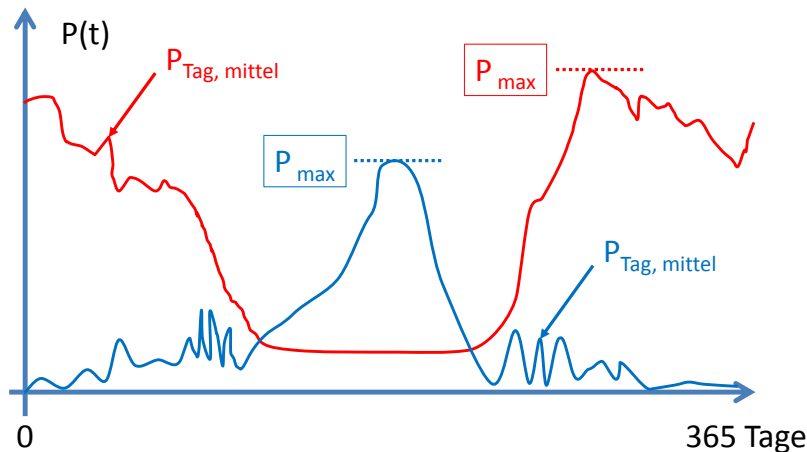


Abbildung 8: Höchste Tagesmittelwerte im Verlauf des Jahres (fiktives Beispiel für Heiz- und Kühllasten).

Die Auswertung erfolgt mit Tagesmittelwerten statt Stundenwerten, da Stundenwerte stark von der Regelstrategie der Gebäudetechnik abhängen und wenig aussagekräftig sind.

4.2 Energie – Nutzenergie und Primärenergie nicht erneuerbar

Die bezogene (E_{Bezug}) und abgegebene (E_{Abgabe}) Nutzenergie thermisch und elektrisch wurde für alle Szenarien an der Quartiergrenze über ein Jahr berechnet.

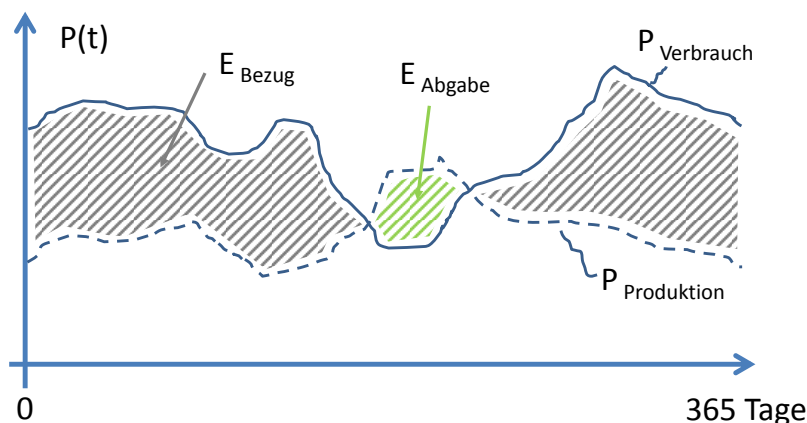


Abbildung 9: Die Differenz zwischen Bedarf und Produktion ergibt die bezogene und abgegebene Energie an der Quartiergrenze (fiktives Beispiel für Strombezugslasten und Stromabgabelasten).

Im Szenario „Effizienz (Erneuerung)“, wo verschiedene Heizsysteme miteinander verglichen wurden, wurden zusätzlich zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs auch der gesamte Primärenergiebedarf nicht erneuerbar (PE n.e.) und die Treibhausgasemissionen (THG) gemäss SIA-Effizienzpfad 2040 berechnet.

5 Vorgehen

5.1 Arbeitspaket 1: Recherchen und Evaluation typisches Quartier

Im Arbeitspaket 1 wurde eine Literatur- und Objektrecherche durchgeführt, um typische Quartiere mit städtischem Charakter zu identifizieren. Das Ziel war, aus realen Siedlungen aus den 60er und 70er Jahren ein typisches Quartier mit zuvor definierten Kriterien auszuwählen und abzubilden, damit deren Bewertung generalisierbare und auf andere Quartiere übertragbare Ergebnisse liefern kann.

5.2 Arbeitspaket 2: Quartieranalyse und Erarbeitung Szenarien

Im Arbeitspaket 2 wurde das Quartier bezüglich Verdichtungspotenzial und Infrastruktur analysiert. Weiter wurden technische Möglichkeiten identifiziert, die möglichst dem Bedarfsprofil des Quartieres Rechnung tragen sollten. Aus den verschiedenen einzelnen Interventionsmöglichkeiten auf technischer sowie architektur-typologischer Ebene wurden verschiedene Szenarien definiert.

5.3 Arbeitspaket 3: Berechnungen und energetische Bilanzierungen

Im Arbeitspaket 3 wurde das thermische und elektrische Lastprofil des Quartiers ermittelt (vgl. auch 7.1 Methodik). Für die Ermittlung des thermischen Lastprofils wurden Simulationen mit IDA-ICE von einzelnen Objekten im Quartier durchgeführt und die Profile der einzelnen Objekte wurden für das Quartier gemäss dem Nutzungsmix hochgerechnet. Für die Ermittlung des elektrischen Lastprofils wurden einzelne Profile aus gemessenen Objekten verschiedener Kategorien genutzt und gemäss dem Nutzungsmix im Quartier hochgerechnet. Für die Ermittlung des Produktionsprofils wurden Simulationen mit Polysun für verschiedene Ausrichtungen und Orientierungen von PV-Anlagen durchgeführt. Die verschiedenen Profile wurden in ein Excel-Tool integriert, wo anschliessend die verschiedenen Szenarien untersucht wurden.

5.4 Arbeitspaket 4: Massnahmenkatalog und Bericht

Im Arbeitspaket 4 wurden die verschiedenen Szenarien ausgewertet und analysiert. Daraus wurde ein Massnahmenkatalog als Planungshilfe für Bauträger erstellt. Mit der Auswertung der Szenarien und die Verifizierung der Hypothesen konnten Handlungsempfehlungen für das Einzelgebäude im Quartier beschrieben werden. Als Abschluss und Zusammenstellung der Erkenntnisse wurde eine Projektdokumentation zu Resultaten und Handlungsempfehlungen erstellt.

6 Charakterisierung und Auswahl Quartier

6.1 Charakterisierung des Quartiers

Bei der Charakterisierung des Quartiers wurde nach typischen städtischen Siedlungen in der Schweiz gesucht (Göbel V., 2012), die sich als Modell für die gestellten Forschungsfragen eigneten.

Die Recherche erfolgte in zwei Schritten:

Schritt 1: Analyse von städtischen Siedlungen in der Stadt Zürich

Es wurden Siedlungen aus den Jahren 1960 bis 1975 analysiert. Diese Art von Siedlungen ist in der Schweiz zahlreich vorhanden und weist einen hohen, meist akuten Erneuerungsbedarf auf. Bei der Analyse hat sich gezeigt, dass diese Siedlungen tendenziell am städtischen Rand angelegt sind. Daher ist auch ein geringer Nutzungsmix in diesen Quartieren vorhanden, so dass sich diese als Modell für das gesuchte typisch städtische Quartier nicht eignen.

Nachfolgend sind zwei Beispiele dieser untersuchten Siedlungen abgebildet:



Abbildung 10: Wohnsiedlung Friesenberg, Zürich (1962)

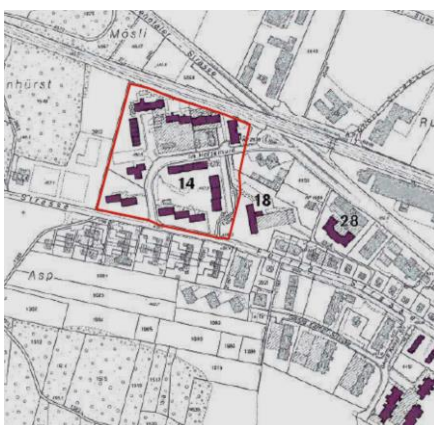


Abbildung 11: Siedlung im Holzlhurd, Zürich (1964-1973)

Schritt 2: Städtische Quartiere in Agglomerationen

Während der Suche nach geeigneten Quartieren wurde festgestellt, dass häufig Quartierstrukturen auftreten, die aus einer Zone von ausschliesslich Wohnbauten und einer danebenliegende Zone mit ausschliesslich gewerblicher Nutzung bestehen. Diese Quartiere erfüllen die Voraussetzungen, um als Modell für die Untersuchung zu dienen.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurden verschiedene Quartiere dieser Kategorie in unterschiedlichen Gebieten der Schweiz analysiert, um zu überprüfen, ob diese Quartiere als typisch bezeichnet werden können.

Nachfolgend sind vier Beispiele von typischen städtischen Quartieren abgebildet:

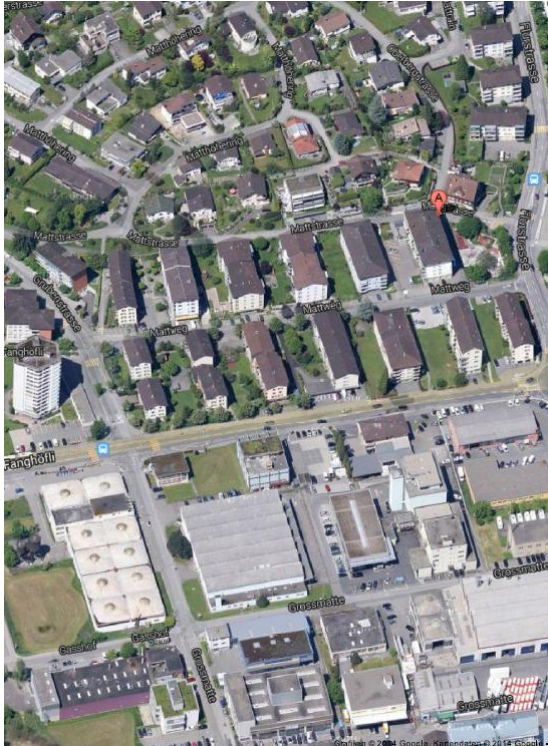


Abbildung 12: Littau-Gassmatt, Luzern (links) und Zugerstrasse, Zug (rechts).



Abbildung 13: Bümpliz-Süd, Bern (links) und Zürichstrasse, Schlieren (rechts).

Anhand von Recherchen wurden folgende Anforderungen festgelegt, um die Vielzahl von möglichen Quartieren einzugrenzen:

- Häufig vorkommende Typologie in städtischen Gebieten
- Grosser Anteil an bestehenden Wohnbauten mit Erneuerungsbedarf
- Vorhandener oder möglicher Nutzungsmix im Quartier oder in der Umgebung.
- Potential für Verdichtungen

6.2 Auswahl des Quartiers

Für die nähere Auswahl eines geeigneten Quartiers wurden in der Region Zug 13 Quartiere ausgesucht und bezüglich der Eignung als Modell für die Studie und der Erfüllung der Anforderungen für ein typisch städtisches Quartier bewertet.

Auf der nachfolgenden Karte (Ausschnitt Zonenplan, GIS Zug) sind die ausgesuchten Quartiere bezeichnet. Die einzelnen Quartiere sind mit einem inneren Kreis (Durchmesser 500m) und einem äusseren Kreis (Durchmesser 1000m) markiert. Die Kreise begrenzen den möglichen Perimeter der Quartiere. Die festgelegte Grösse der Kreise ist darin begründet, dass in dieser Grössenordnung ein Quartier überschaubar ist und sich darin verschiedene mögliche Vernetzungen in der Energieversorgung umsetzen lassen.

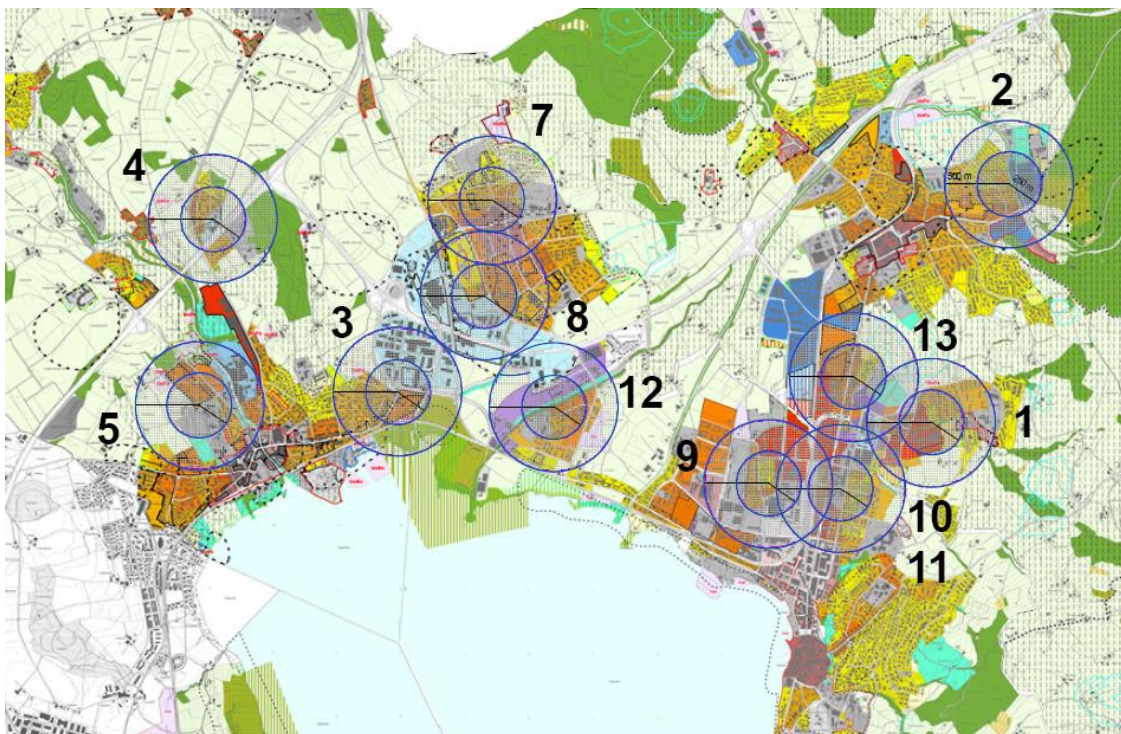


Abbildung 14: Übersichtskarte der Gemeinden Zug, Baar, Steinhausen und Cham mit den ausgewählten Quartieren.

Legende:

1	Grünbach, Baar	8	Knauerstrasse, Steinhausen
2	Schützengraben, Baar	9	Gartenstadt – Alpenblick, Zug
3	„Cham Ost“, Cham	10	Industriestrasse, Zug
4	Langackerstrasse, Cham	11	Mattenstrasse, Zug
5	Röhrlibergstrasse, Cham	12	Chollerstrasse, Zug

6 Grundstrasse, Risch (Nicht auf dem Bild)

13 Zugerstrasse, Zug

7 Blickensdorfstrasse, Steinhausen

Daraus wurde das Quartier „Cham Ost“ in der Gemeinde Cham ausgewählt. Folgende Gründe sprechen für dieses Quartier, um als Modell für die Studie verwendet zu werden:

- Unterschiedliche Typologien und Gebäude mit verschiedenen Baujahren
- Vorhandene Freiflächen für das Potential einer inneren Verdichtung bzw. Sanierung
- Die Trennung von Wohn- und Gewerbezone (häufig der Fall in städtischen Quartieren)

6.3 Quartieranalyse „Cham Ost“

Das Quartier „Cham Ost“ wird für diese Studie als Modell für die zu prüfenden Szenarien verwendet. Nachfolgend ist das Quartier bezüglich Infrastruktur und Bebauung beschrieben:

Das Quartier in „Cham Ost“ besteht aus drei verschiedenen Teilquartieren:

- | | |
|--------------|--------------------------------------|
| • Allmend | Nutzung Verwaltung, Gewerbe, Verkauf |
| • Mugerren | Hauptnutzung Wohnen (EFH, MFH) |
| • Alpenblick | Nutzung Wohnen (MFH, Hochhäuser) |

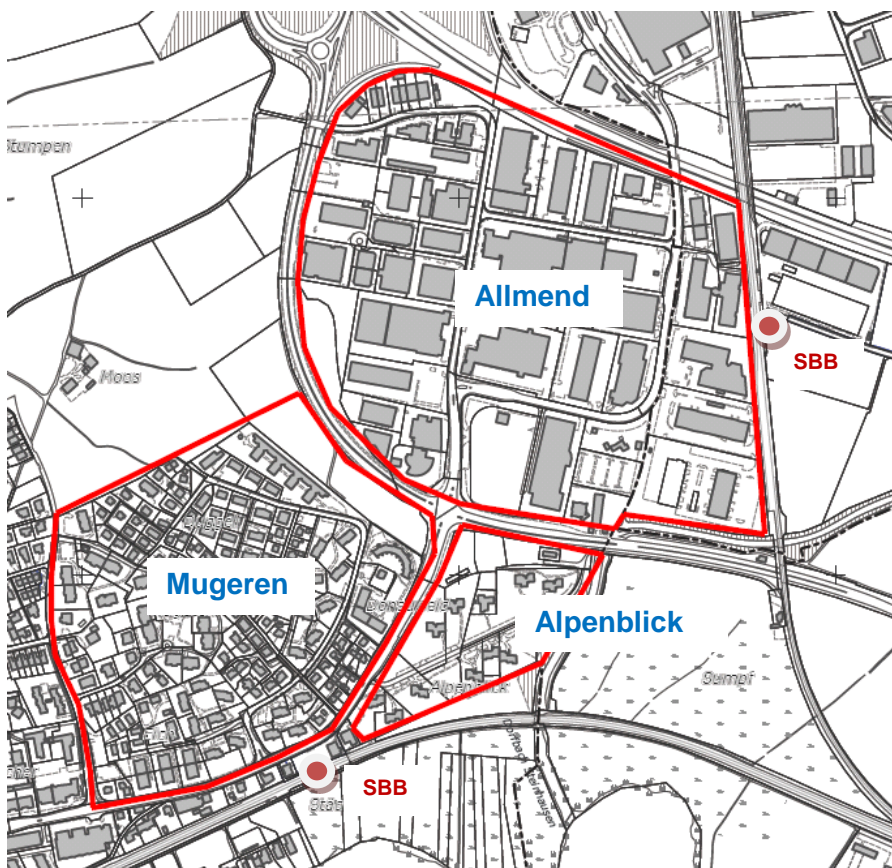


Abbildung 15: Aufteilung der drei Teilgebiete in „Cham Ost“.

Die drei Teilquartiere sind durch stark frequentierte Strassen voneinander getrennt und sind damit verkehrstechnisch gut erschlossen. Die Anknüpfung an den öffentlichen Verkehr ist mit zwei S-Bahn-Haltestellen und mehreren Bushaltestellen sehr gut (ÖV Güteklasse B).



Abbildung 16: Gebiet Allmend (Quelle: Google-Map)



Abbildung 17: Gebiet Mugerren (Quelle: Google-Map)



Abbildung 18: Gebiet Alpenblick mit den Hochhäusern (Quelle: Google-Map)

6.3.1 Bestehende Bebauung

Aufgrund der Zonenplanung ist eine starke örtliche Trennung der Nutzungen Wohnen und Arbeiten erkennbar. In den Gebieten Mugerer und Alpenblick sind mit ganz wenigen Ausnahmen nur Wohnnutzungen unterschiedlicher Typologien und Baujahre vorhanden.

Das Gebiet Allmend besteht vorwiegend aus Gewerbe- und Verwaltungsbauten. Es sind auch einige Verkaufsflächen vorhanden, die von verschiedenen Detaillisten (Otto's, Aldi, Coop) genutzt werden. Der Anteil an Verkaufsflächen beträgt im Teilquartier Allmend 7%.

Im Teilquartier Mugerren sind Siedlungen mit Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäuser gemischt. Die Bauten wurden zu unterschiedlichen Zeiten ab ca. 1940 erstellt. Es sind auch zahlreiche Neubauten ab dem Jahr 2000 vorhanden.

Das Gebiet Alpenblick besteht aus einer eigenständigen Wohnsiedlung aus Wohnhäusern mit 5-12 Geschossen. Diese Siedlung wurde um 1970 erstellt und bislang nur leicht erneuert.



Abbildung 19: Übersicht der verschiedenen Hauptnutzungen der Gebäude im Quartier



Nutzung	Geschosse
Büro	1-2
Büro	3-4
Büro	>5
Wohnen	1-2
Wohnen	3-4
Wohnen	5-9
Wohnen	>10
Verkauf	1-2
Verkauf	>3
Gewerbe	1-2
Gewerbe	3-4
Gewerbe	>5

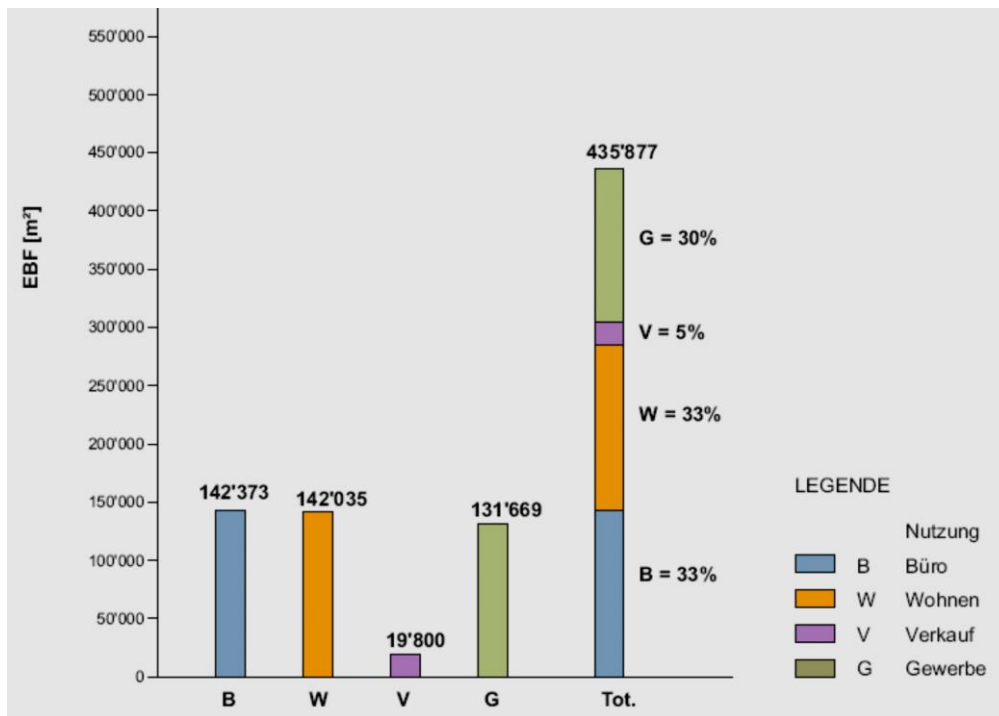


Abbildung 20: Grafik: Anteil EBF-Fläche der verschiedenen Nutzungen

Tabelle 1: Zusammenstellung der EBF-Flächen und Nutzungen des bestehenden Quartiers „Cham Ost“



	Kategorie	Ae [m ²] Ist	Ae [m ²] neu	Ae [m ²] Tot.	Nutzungsanteil [%]
Allmend	G	131'669		131'669	45
	B	142'373		142'373	48
	V	19'800		19'800	7
	W	0		0	0
	Tot.			293'842	100
Mugeren	G			0	0
	B			0	0
	V			0	0
	W			110'565	100
	Tot.			110'565	100
Alpenblick	G			0	0
	B			0	0
	V			0	0
	W			31'470	100
	Tot.			31'470	100
	Kategorie	Ae [m ²] Ist	Ae [m ²] neu	Ae [m ²] Tot.	Nutzungsanteil [%]
Quartier Total	G			131'669	30
	B			142'373	33
	V			19'800	5
	W			142'035	33
	Tot.			435'877	100
Quartier Total	GF[m ²] Grundstücksfläche	EBF (Ae) [m ²] Energiebezugsfläche	AZ Ausnützungsziffer	FF [m ²] Freifläche	FZ Freiflächenziffer
	461'971	435'877	0.94	334'224	0.72



Tabelle 2: Zusammenfassung EBF und Dachfläche unterteilt nach den verschiedenen Gebäudekategorien

Quartier	Kategorie	Summe EBF	Anteil	Dachfläche [m ²]
Allmend	Gewerbe	131'669 m ²	30%	53'484 m ²
	Verwaltung ab Baujahr 2000	42'757 m ²	10%	7'751 m ²
	Verwaltung Baujahr 1990-2000	99'616 m ²	23%	21'038 m ²
	Verkauf	19'800 m ²	5%	10'020 m ²
Mugeren	Wohnen ab Baujahr 2000	1'225 m ²	0.3%	350 m ²
	Wohnen Baujahr 1990-2000	69'483 m ²	16%	17'947 m ²
	Wohnen bis Baujahr 1990	39'858 m ²	9%	13'505 m ²
Alpenblick	Wohnen bis Baujahr 1990	31'470 m ²	7%	3'652 m ²
Total		435'877 m²	100%	127'747 m²

6.4 Infrastrukturen im Quartier „Cham Ost“

6.4.1 Elektrisches Netz

Das elektrische Netz besteht aus Zuleitungen im Mittelspannungsbereich (Abbildung 21) mit Spannungen zwischen 1 kV und 52 kV, welche zu den Ortsnetz-Trafostationen im Quartier führen. Die Trafostationen wandeln anschliessend die Spannungen auf 230/400 Volt um und erschliessen über das Niederspannungsnetz die Gebäude (Abbildung 22).

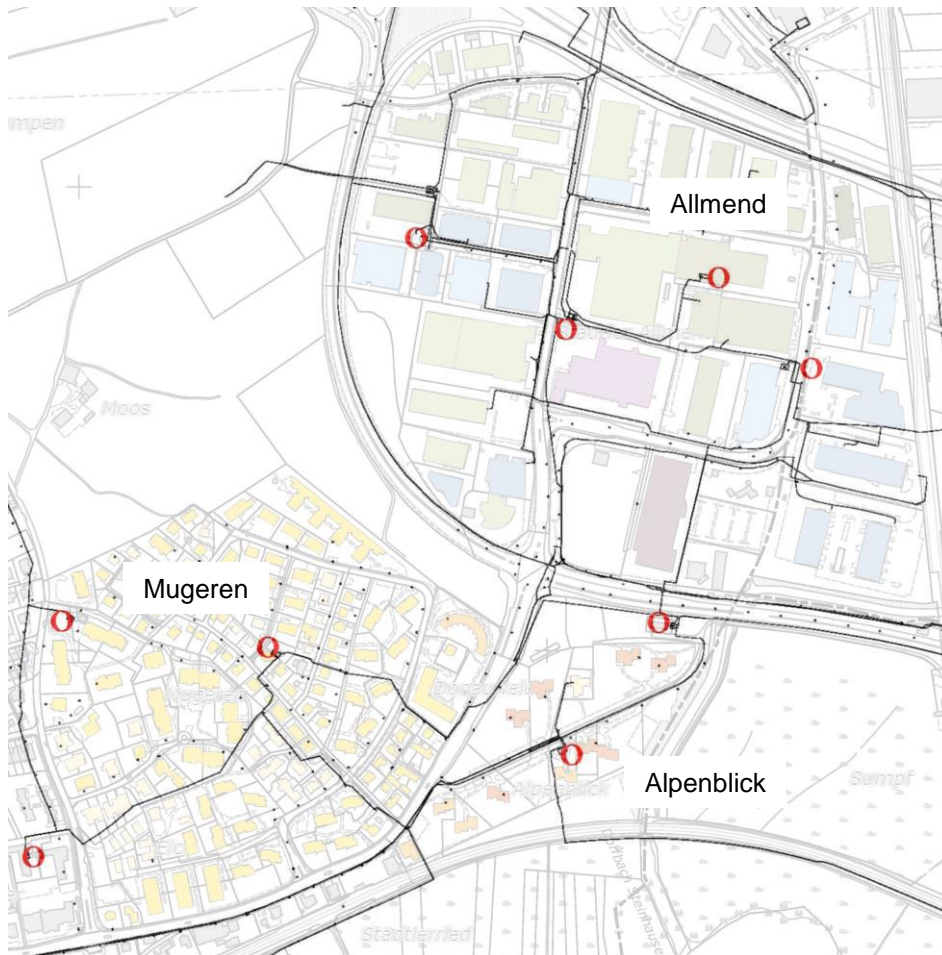


Abbildung 21: Mittelspannungsleitung in den Teilquartieren Mugerren, Alpenblick und Allmend und rot die Trafostationen

Im Teilquartier Mugerren gibt es drei Trafostationen, welche die Ein- und Mehrfamilienhäuser versorgen. Im Teilquartier Alpenblick sind zwei weitere Trafostationen lokalisiert, wobei eine Station auch Teile des Gebietes Allmend versorgt. Im Teilquartier Allmend gibt es vier Trafostationen.

Von den Trafostationen wegführend versorgt ein fein verästeltetes Niederspannungsnetz (Abbildung 22) die Gebäude mit elektrischer Energie.



Abbildung 22: Niederspannungsverteilstromnetz (400 Volt, 3 Phasen) und Trafostationen in den Teilquartieren Mugerren, Alpenblick und Allmend

6.4.2 Gasnetz

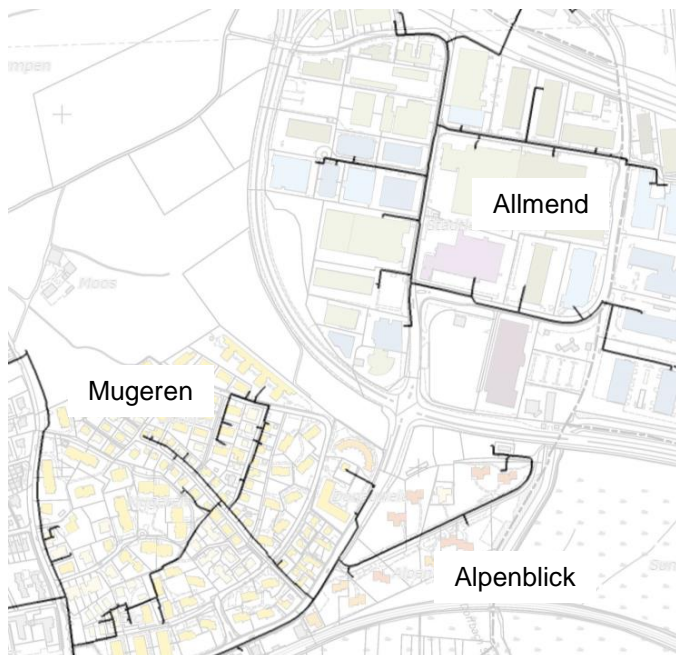


Abbildung 23: Gasnetz in den Teilquartieren Mugerren, Alpenblick und Allmend.

In Abbildung 23 sind die Niederdruck- und Mitteldruckleitungen Gas (kleiner oder gleich 1 bar Druck) abgebildet. Im Teilquartier Allmend sind einige grössere Wärmeerzeuger an die Gasleitungen angeschlossen.

6.4.3 Thermisches Netz

Es wurden keine übergeordneten thermischen Netze (Fernwärmeleitungen) im Quartier identifiziert.

6.4.4 Fossile Wärmeerzeuger im Quartier „Cham Ost“

In den Gebieten Allmend, Mugerén und Alpenblick sind insgesamt 210 fossile Wärmeerzeuger installiert (72 Gas- und 138 Ölbrenner) mit insgesamt einer maximalen Leistung von 547 kW. Von den 210 fossilen Wärmeerzeugern kommen 203 für Raumwärme und Warmwasser zum Einsatz. Die durchschnittliche Leistung liegt bei 73.5 kW.

Tabelle 3: Anzahl Gas- und Ölbrenner mit mittlerer, minimaler und maximaler Leistung.

	Anzahl Gasbrenner	Anzahl Ölbrenner	Durchschnittliche Leistung	Minimale Leistung	Maximale Leistung
Allmend (Nicht-Wohnen)	14	25	168.0 kW	17 kW	450 kW
Mugerén (EFH und MFH)	53	102	37.7 kW	11 kW	350 kW
Alpenblick (Hochhäuser)	1	8	193.0 kW	42 kW	547 kW
Total	68	135	73.5 kW (Mittel)	11 kW (Min)	547 kW (Max)

Bis auf das Gebiet Alpenblick, wo es nur eine Gasheizungsanlage gibt, ist das Verhältnis Gas- zu Ölheizung etwa 1:2.

Tabelle 4: Anteil an mit Gas oder Öl betriebenen Wärmeerzeugern in den Gebieten Allmend, Mugerén und Alpenblick.

	Gasbrenner	Ölbrenner
Allmend	36%	64%
Mugerén	34%	66%
Alpenblick	11%	89%

Verteilung Brennerleistung im Quartier „Cham Ost“

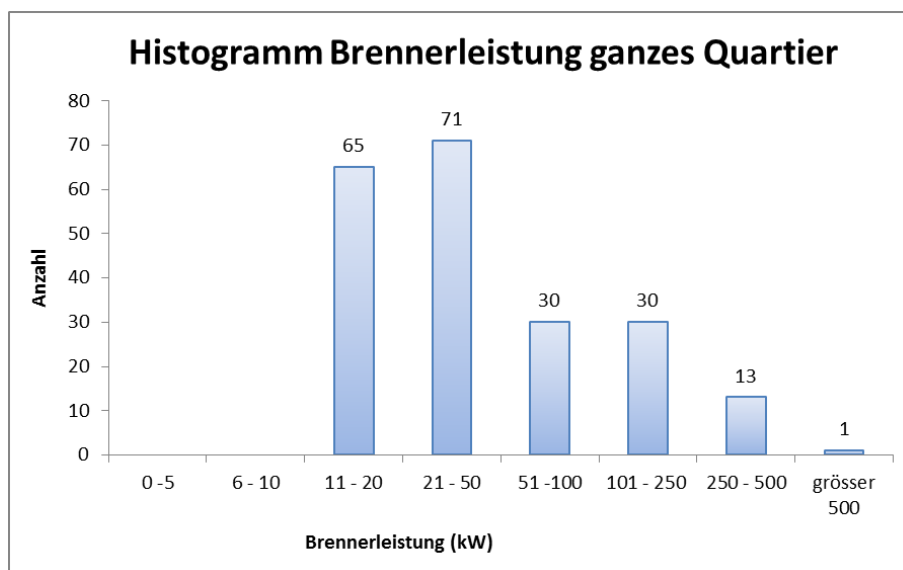


Abbildung 24: Verteilung der Brennerleistungen der fossilen Wärmeerzeuger im Quartier „Cham Ost“

Im ganzen Quartier „Cham Ost“ kommen primär Brenner in einer Leistungsklasse zwischen 10 kW bis 50 kW zum Einsatz.

Verteilung Brennerleistung im Teilquartier Allmend

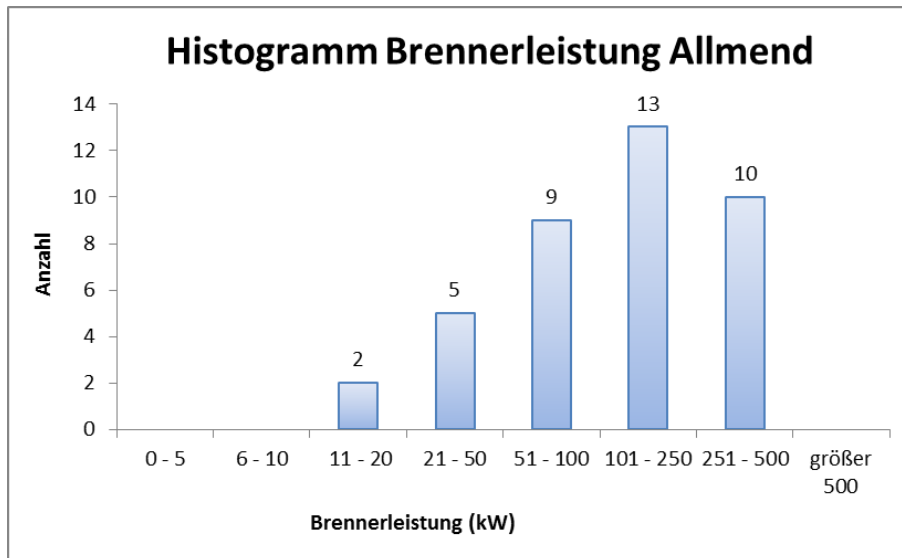


Abbildung 25: Verteilung der Brennerleistungen der fossilen Wärmeerzeuger im Teilquartier Allmend.

Im Teilquartier Allmend sind 23 Wärmeerzeuger mehr als 100 kW Heizleistung und 10 Wärmeerzeuger mit über 250 kW im Einsatz (Abbildung 21).

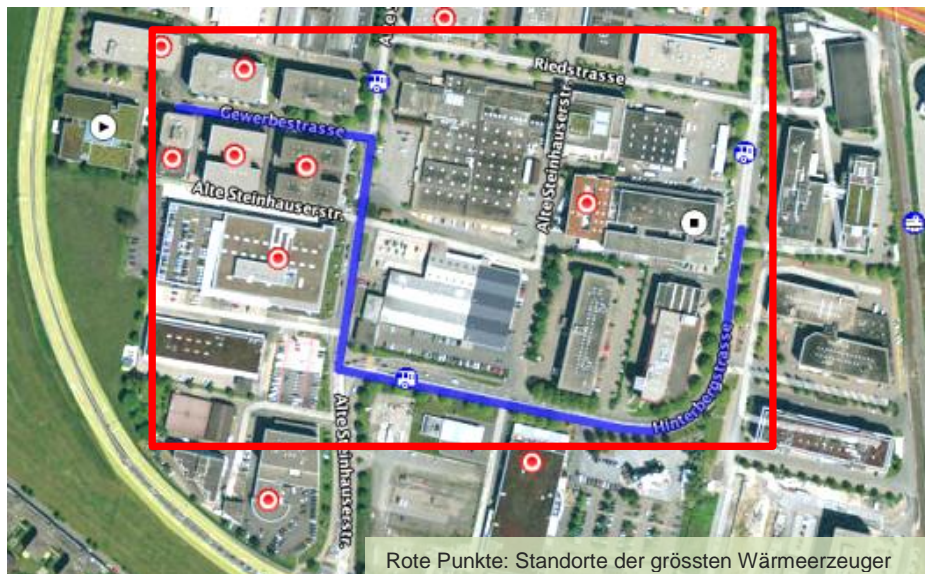


Abbildung 26: Wärmeerzeuger ab 250 kW (rote Punkte) im Teilquartier Allmend. (Quelle: www.zugmap.ch)

Verteilung Brennerleistung im Teilquartier Mugerén

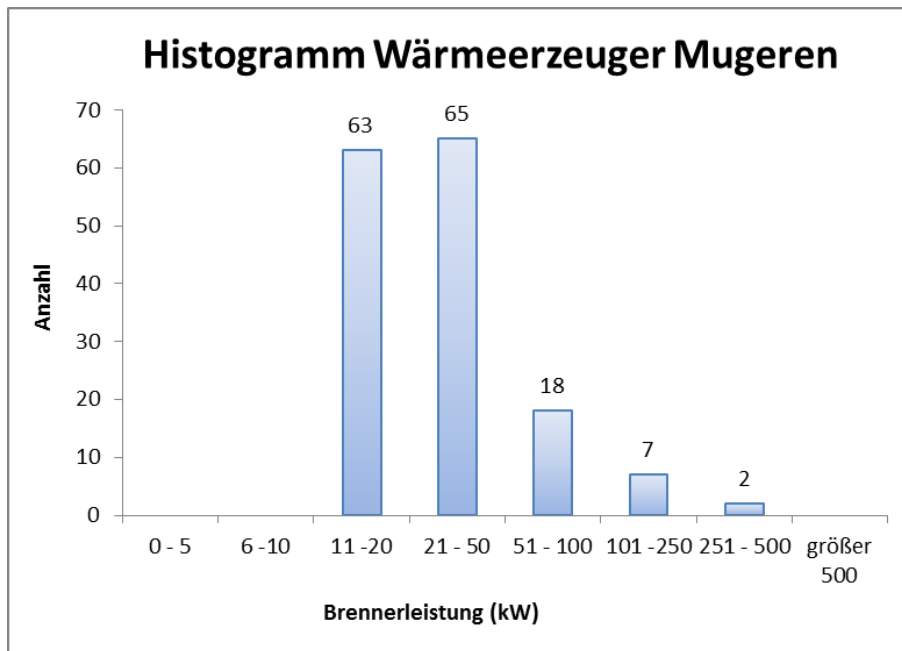


Abbildung 27: Verteilung der Brennerleistungen der fossilen Wärmeerzeuger im Teilquartier Mugerén.

Trotz hohem Anteil an Einfamilienhäusern haben die kleinsten Brenner eine Leistung von mindestens 11 kW, was für sanierte Gebäude auf eine Überdimensionierung hindeutet. Die acht grösseren Wärmeerzeuger haben im Schnitt 200 kW Leistung. Diese Wärmeerzeuger, welche z.T. bereits mehrere Gebäude zentral versorgen, sind bis auf eine Ausnahme mit Gas betrieben.

Verteilung Brennerleistung im Teilquartier Alpenblick

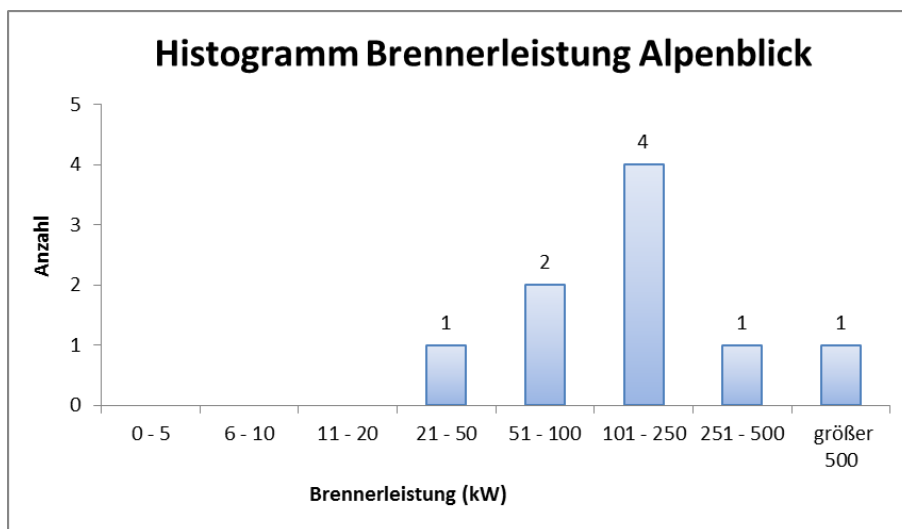


Abbildung 28: Verteilung der Brennerleistungen der fossilen Wärmeerzeuger im Teilquartier Alpenblick.

Die vier Hochhäuser im Teilquartier Alpenblick werden mit zwei Wärmeerzeugern mit total 900 kW Leistung beheizt.

7 Analyse thermisch-elektrisch

7.1 Methodik

Nach der Analyse des Quartiers „Cham Ost“ wurde das thermische und elektrische Lastprofil des Quartiers abgebildet.

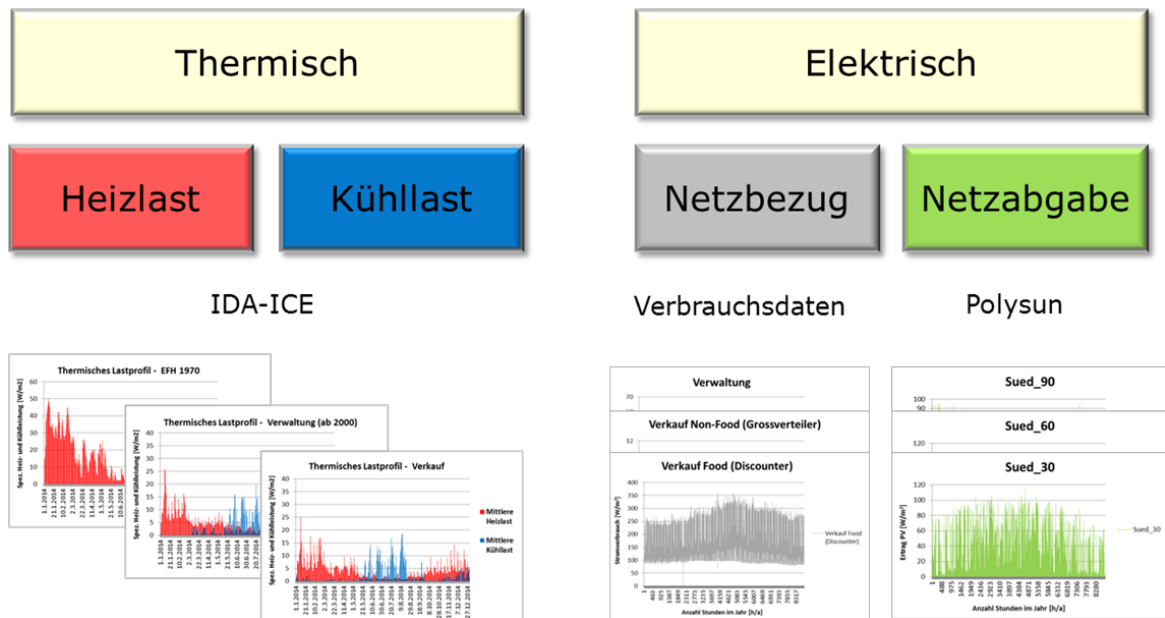


Abbildung 29: Methodik zur Berechnung der thermischen und elektrischen Last- und Produktionsprofile.

7.2 Heiz- und Kühllasten

Das Quartier „Cham Ost“ wurde in Einzelgebäuden aufgeschlüsselt. Die Einzelgebäude wurden dann einer von 16 vordefinierten Gebäudekategorien zugeordnet (Tabelle 5). Bezug nehmend auf die zukünftige Entwicklung von Quartieren und die zu erwartende Verdichtung wurden ebenfalls zukünftige Gebäude für die verschiedenen Kategorien berücksichtigt. Zu jeder der 16 Gebäudekategorien wurden anhand von Recherchen (Heeren N., 2009), Annahmen und Erfahrungswerten folgende Parameter definiert:

- Nutzung
- Bauperiode
- Energiebezugsfläche
- Anzahl Geschosse
- U-Werte (Dach, Aussenwand, Kellerwand/Kellerboden gegen Erdreich)
- g-Wert
- Fensteranteil (an Fassade)

Gebäude der einzelnen Kategorien wurden mit den festgelegten Parametern im thermischen Simulationsprogramm IDA-ICE modelliert und dynamisch simuliert, die Resultate werden in einer Stundenauflösung dargestellt. Bei den Wohneinheiten ist keine Kühlung definiert. Bei Bürobauten, Gewerbe und Verkauf wurde der Klimakältebedarf berücksichtigt, die Prozesskälte aber nicht, da diese von Objekt zu Objekt stark variiert und individuell betrachtet werden muss. Die Gleichzeitigkeit des Stromverbrauchs wurde für die Wohnnutzungen (siehe Abbildung 30) berücksichtigt. Für die restlichen Nutzungen und für die thermischen Lastprofile wurde die Gleichzeitigkeit aufgrund mangelnder Daten nicht berücksichtigt. Eine detailliertere Dokumentation zu den Grundlagen und weitere Annahmen der thermischen Simulationen sowie die einzelnen thermischen Lastprofile befinden sich im Anhang 15.3.

Tabelle 5: Kategorisierung der Gebäude auf dem Areal mit entsprechenden physikalischen Eigenschaften für die Simulationen.

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Aussenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[-]	[%]
EFH 1970	280	3	0.7	0.9	1	0.8	3.3	0.7	15
EFH 1970 (Fenster saniert)	280	3	0.7	0.9	1	0.8	1.5	0.6	15
EFH 1990	280	3	0.4	0.4	0.4	0.3	2.4	0.6	20
EFH 2010	280	3	0.2	0.2	0.25	0.25	1.3	0.5	25
MFH 1970	1'100	4	0.7	0.9	1	0.8	3.3	0.7	25
MFH 1970 (Fenster saniert)	1'100	4	0.7	0.9	1	0.8	1.5	0.6	25
MFH 1990	1'100	4	0.4	0.4	0.4	0.3	2.4	0.6	30
MFH 2010	1'100	4	0.2	0.2	0.25	0.25	1.3	0.5	30
Hochhaus 1970	3'000	10	0.7	0.9	1	0.8	3.3	0.7	20
Hochhaus 1970 (Fenster saniert)	3'000	10	0.7	0.9	1	0.8	1.5	0.6	20
Hochhaus 1990	3'000	10	0.4	0.4	0.4	0.3	2.4	0.6	25
Hochhaus 2000	3'000	10	0.2	0.2	0.25	0.25	1.3	0.5	30
Verwaltung (1990-2000)	9'000	4	0.3	0.4	0.32	0.28	2.4	0.6	40
Verwaltung (ab 2000)	14'250	6	0.3	0.25	0.25	0.28	1.5	0.6	50
Gewerbe	4'400	2	0.3	0.4	0.32	0.28	2.4	0.6	30
Verkauf	9'900	2	0.3	0.4	0.32	0.28	2.4	0.6	40

7.3 Stromlastprofile

Im Gegensatz zu den thermischen Lastprofilen konnten die elektrischen Verbrauchsprofile aus realen Messungen genommen werden. Stündliche Lastprofile aus dem untersuchten Gebiet wurden für die Nutzungen Verwaltung, Gewerbe und Verkauf von den Wasserwerken Zug (WWZ) zur Verfügung gestellt. Der Stromverbrauch des Verwaltungsgebäudes beinhaltet den allgemeinen Stromverbrauch und den Stromverbrauch für Freecooling über Erdwärmesonden, jedoch nicht den Stromverbrauch einer Wärmepumpe, da das ausgewählte Gebäude durch fossilen Energieträger beheizt wird. Der Stromverbrauch der Nutzungen Gewerbe und Verkauf setzt sich aus dem Betriebsstrom und dem Strom für die Kühlung zusammen. Das Verbrauchsprofil von Wohngebäuden im Quartier „Cham Ost“ war nicht im Stundenschnitt vorhanden. Aus diesem Grund wurden die Verbrauchsprofile aus einem vergleichbaren Datensatz verwendet (70 Wohnungen aus einem Areal in Rotkreuz).

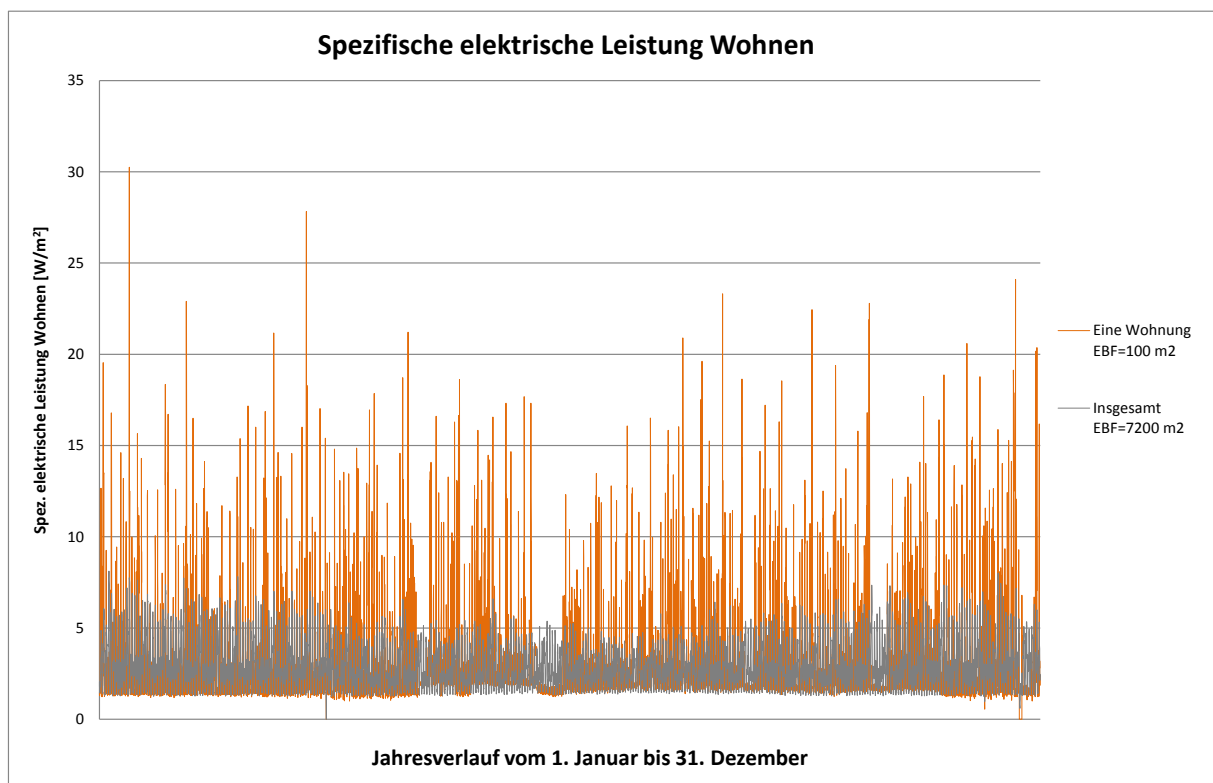


Abbildung 30: Spezifisches Stromlastprofil einer einzelnen Wohnung (orange) und Stromlastprofil des Gesamtareals in Rotkreuz (grau).

Durch die stochastische Variabilität des Nutzerverhaltens liegen die Peaks (Leistung pro Quadratmeter EBF) für das Gesamtgebiet um einen Faktor vier tiefer als bei Einzelwohnungen. Aufgrund der Grösse des betrachteten Gebiets in „Cham Ost“ wurde in dieser Studie das gemittelte Verbrauchsprofil anstelle des Verbrauchsprofils einer Einzelwohnung übernommen.

Für die Untersuchung der Szenarien wurde angenommen, dass der spezifische Stromverbrauch der gleichen Nutzung für alle Bauperioden gleich ist. Diese Annahme rechtfertigt sich dadurch, dass die Zunahme an Verbrauchern (Geräte) durch die höhere Effizienz meist in etwa kompensiert wird. (Quelle: Jürg Nipkow, ARENA)

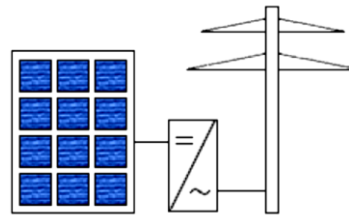
Die elektrischen Lastprofile der verwendeten Nutzungen befinden sich im Anhang 15.4.

7.4 Stromproduktionsprofile

Die Stromproduktionsprofile von PV-Anlagen wurden mit Hilfe des Programms Polysun für verschiedene Orientierungen und Dachneigungen erzeugt. Dazu wurde eine typische Schaltung mit 10 Standardmodulen (Enecolo, 14 m²) und einem Standard-Wechselrichter (Inverter 1300T) verwendet und für den Standort Cham simuliert.

Die Module werden in Zukunft einen höheren Modulwirkungsgrad und eine bessere Performance Ratio erreichen,

wodurch nochmals um 10-20% höhere PV-Leistungen zu erwarten sind (Aussage P. Toggweiler). Die Stromproduktionsprofile wurden für vier verschiedene Richtungen (Süd, West, Ost und Nord) und Winkel (0°, 30°, 60° und 90°) ermittelt (Tabelle 6).



Photovoltaik Photovoltaik-Modul
Anzahl Module 10
Gesamte Nennleistung 1.8 kW
Ausrichtung 0 °
Anstellwinkel 0 °

Tabelle 6: Simulierte Fälle für die Produktionsprofile von PV-Anlagen (links) und Darstellungswerte aus Polysun.

Orientierung	Neigung	Übersicht Photovoltaik (Jahreswerte)	
Süd	0°, 30°, 60°, 90°	Bruttogesamtfläche	14 m ²
		Energieproduktion DC [Qpvf]	1'628 kWh
West	0°, 30°, 60°, 90°	Energieproduktion AC [Qinv]	1'474 kWh
		Gesamte Nennleistung	1.8 kW
Ost	0°, 30°	Performance Ratio	75.2 %
		Spezifischer Jahresertrag	819 kWh/kWp/a
Nord	0°	CO2 Einsparung	790.8 kg

Der Ertrag wurde dann spezifisch pro m² PV-Fläche berechnet (Tabelle 7).

Tabelle 7: Spezifischer Jahresertrag je nach Ausrichtung und Winkel der PV-Anlage. Nord sowie Ost (60°/90°)-ausgerichtete Anlagen wurden nicht untersucht, da dessen Ertrag tief liegt.

Ausrichtung/ Winkel	Süd	West	Ost	Nord	
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]	
0°	105	105	105	105	< 70 kWh/m ² a
30°	118	97	96	n.a.	70 - 80 kWh/m ² a
60°	110	83	n.a.	n.a.	80 - 90 kWh/m ² a
90°	79	62	n.a.	n.a.	90 - 100 kWh/m ² a
					100 - 110 kWh/m ² a
					110 - 120 kWh/m ² a

Der Stromertrag aus der Produktion von Photovoltaik ist bei einer Süd-Orientierung und 30° Neigung mit 118 kWh/m²a maximal. Der zweitgrösste Ertrag wird bei einer Süd-Orientierung und 60° Neigung erzielt. Bei einem Winkel von 0° (horizontal) erzielt die PV-Anlage gleich viel Strom in allen Richtungen.

Die Stromproduktionsprofile sind graphisch im Anhang 15.5 zu finden.

7.5 Rechentool

Die thermischen und elektrischen Lastprofile der einzelnen Gebäudekategorien fließen in ein Excel-Tool zur Bestimmung des Lastprofils des Gesamtareals. Das thermische und elektrische Lastprofil des Gesamtquartiers ergab sich aus der Addition der einzelnen Lastprofile.

Im Tool können Nutzungsmix, EBF, Heizungssystem (Fossil, WP, WKK) mit entsprechendem Wirkungsgrad und PV-Fläche und Neigung modifiziert werden (Abbildung 31).

Nutzungsmix Heute					
Nutzungsmix	Anteil	Heizungssystem	η Elektrisch	η Thermisch	
EFH 1970	4%				
EFH 1970 (saniert)	5%				
EFH 1990	3%				
EFH 2010	0%				
MFH 1970	0%				
MFH 1970 (saniert)	0%				
MFH 1990	13%				
MFH 2010	0%				
Hochhaus 1970	7%				
Hochhaus 1970 (saniert)	0%				
Hochhaus 1990	0%				
Hochhaus 2000	0%				
Verwaltung (1990-2000)	23%				
Verwaltung (ab 2000)	10%				
Gewerbe	30%				
Verkauf	5%				
Total	100%				

Heizungssystem	η Elektrisch	η Thermisch
Fossil	-	0.85
WP	-	3
WKK	0.35	0.6

Nutzungsmix	Fläche PV 1	Orientierung PV 1	Fläche PV 2	Orientierung PV 2
	[m ² /Gebäude]		[m ² /Gebäude]	
EFH 1970	33	Sued_30	0	Ost_0
EFH 1970 (saniert)	33	Sued_60	0	Nord_90
EFH 1990	33	West_0	0	West_60

Abbildung 31: Auswahl Nutzungsmix (links), Wärmeerzeugung (oben rechts) und Eingabe der Stromproduktion durch Photovoltaik.

Die verschiedenen architektur-typologischen Varianten werden durch die Änderung des Nutzungsmix' und EBF (Verdichtung) gebildet. Entsprechend werden die Flächen zu den einzelnen Nutzungen modifiziert und die Lastprofile werden automatisch angepasst.

Für die Wärmeerzeugung besteht eine Auswahl von fossilen Wärmeerzeugern, Wärmepumpen und WKK zur Verfügung. Die Auswahl von fossilen Wärmeerzeugern mit dem dazugehörigen Wirkungsgrad hat keinen Einfluss auf das thermische und elektrische Lastprofil. Bei der Auswahl WP werden die stündlichen Werte des Heizwärmebedarfs durch die JAZ der Wärmepumpe geteilt und der zusätzliche stündliche Stromverbrauch wird dem Stromlastprofil angerechnet. Das Stromprofil, verursacht durch die Wärmepumpen, verläuft also proportional zum Heizwärmebedarf. Bei der Auswahl WKK werden die stündlichen Werte des Heizwärmebedarfs durch den thermischen Wirkungsgrad geteilt und danach mit dem elektrischen Wirkungsgrad multipliziert, um die Stromproduktion zu bestimmen.

Weiter sind die Produktionsprofile der PV-Anlagen und die Dachflächen des Quartiers „Cham Ost“ hinterlegt, wodurch die gesamte Stromproduktion der PV-Anlagen für alle Gebäude mit Angabe von zwei unterschiedlichen Neigungen pro Gebäudetyp berücksichtigt werden kann.

8 IST-Zustand Quartier

8.1 Nutzungsmix Heute

Im Teilquartier Allmend ist primär Verwaltung und Gewerbe angesiedelt. Im Teilquartier Mugerren befinden sich Einfamilienhäuser, die zum Teil saniert und angebaut wurden, ebenso kleinere Mehrfamilienhäuser. Im Teilquartier Alpenblick sind vor allem Hochhäuser angesiedelt.

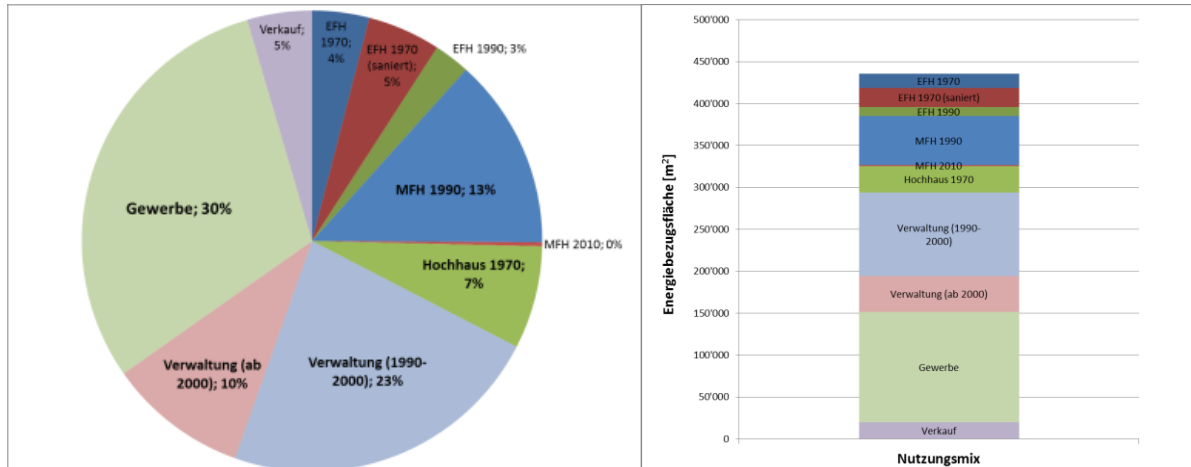


Abbildung 32: Anteil Gesamtenergiebezugsfläche relativ und absolut der verschiedenen Nutzungskategorien

Werden die Nutzungen gemäss ihrem Anteil an der Energiebezugsfläche (EBF) dargestellt, so wird deutlich, dass Gewerbe und Verwaltung dominieren. Das Teilquartier Allmend (Nicht-Wohnbauten) ist für 68% Flächenanteil gegenüber 32% für Mugerren und Alpenblick verantwortlich.

8.2 Überblick Energieverbrauch

8.2.1 Spezifischer Heizwärme- und Klimakältebedarf

In folgender Abbildung werden der jährliche spezifische Heizwärme- und Klimakältebedarf der verschiedenen definierten Gebäudekategorien gemäss Simulationen dargestellt.

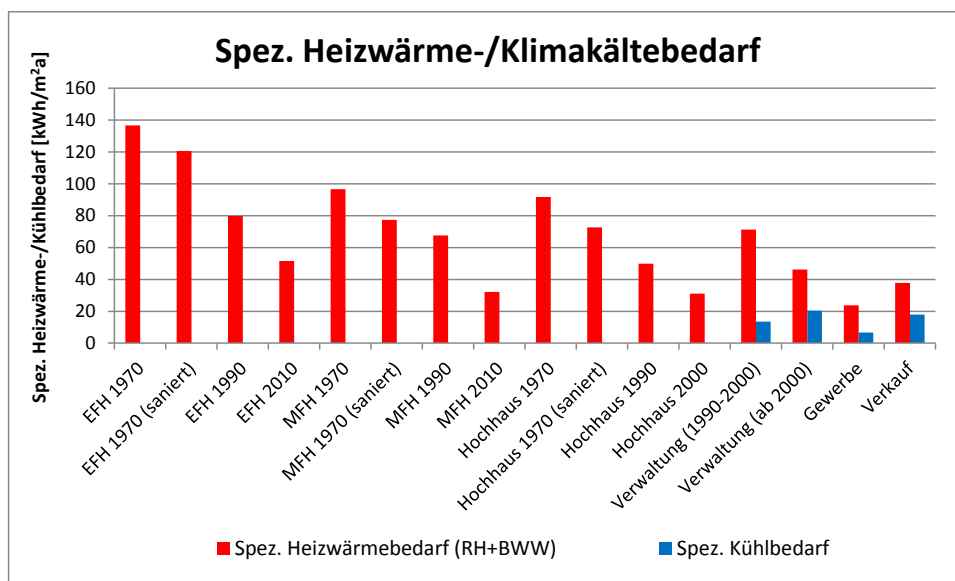


Abbildung 33: Spezifischer Heizwärme- (RH + BWW) und Klimakältebedarf der 16 simulierten Gebäudekategorien.

Der Heizwärmebedarf der Kategorien EFH und MFH aus dem Jahr 1970 (unsaniert) korrespondiert gut mit gemessenen Werten überein (Ott, 2011). Der spezifische Heizwärmebedarf von EFH 2010 und MFH 2010 entspricht ungefähr dem Heizwärmebedarf von Minergie-Neubauten.

Der Heizwärme- und Klimakältebedarf von Verwaltungsgebäuden entspricht nicht den Richtwerten nach SIA 2024 (Einzel-Gruppenbüro = 0 kWh/m²a Klimakältebedarf) sondern wurde bewusst an den praxisnahen Werten (Struck, 2014) angepasst. So hat sich gezeigt, dass Verwaltungsgebäude je nach Kühl-Sollwerttemperatur und Sonnenschutzregelung bei der Klimakälte rund 20 bis 50% des Energiebedarfs für Heizwärme verbrauchen. Der Klimakältebedarf von Gewerbe ist stark von der Nutzungsart (grobe Arbeit oder feine Arbeit) abhängig. Beim Verkauf gibt es verschiedene Nutzungsarten (Food, Non Food, Möbel...) dessen Klimakältebedarf unterschiedlich ist. Beim Verkauf ist vor allem die Beleuchtung (Akzentbeleuchtung) für die hohen internen Wärmelasten verantwortlich.

8.2.2 Spezifischer Stromverbrauch

Der Stromverbrauch wird für die verschiedenen Gebäudekategorien in folgender Abbildung gemäss vorhandenen Profilen dargestellt.

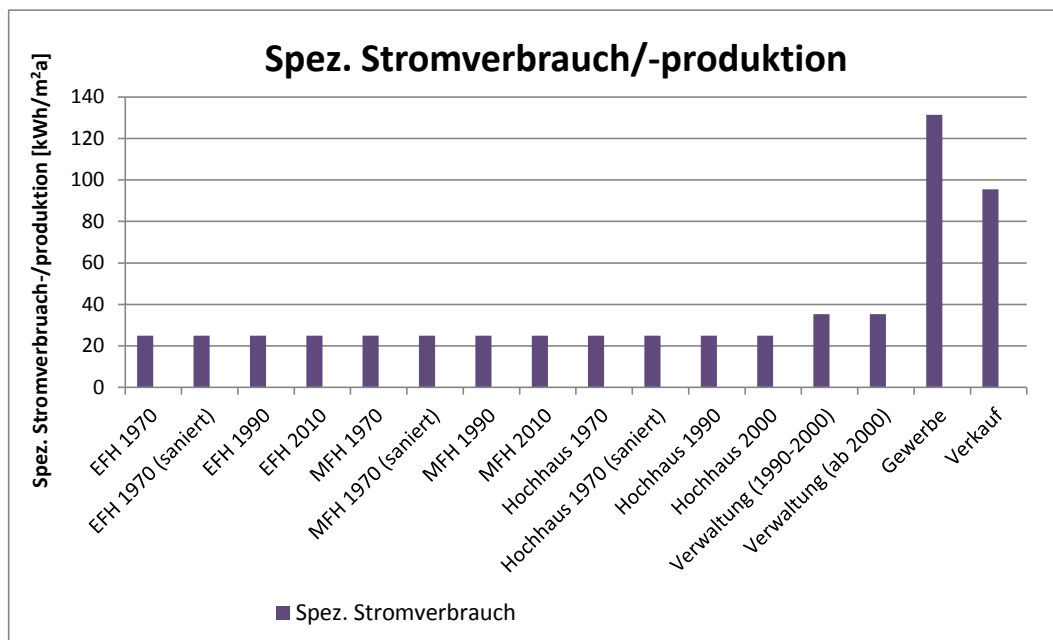


Abbildung 34: Spezifischer Stromverbrauch der verschiedenen Gebäudekategorien gemäss Verbrauchswerten aus Referenzgebäuden.

Der Durchschnittsverbrauch aller Wohnungen beträgt 25 kWh/m²a und ist für Wohnungen ein realistischer Wert. Dies entspricht rund 5000 kWh/a für ein EFH von 200 m². Der Stromverbrauch der Verwaltung beträgt rund 35 kWh/m²a und stimmt mit den Werten des SIA Merkblatts 2024 überein.

Die erhaltenen Verbrauchsdaten aus dem Gewerbe waren extrem hoch (Faktor 6 gegenüber Verwaltung). Diese Werte werden von einer Giesserei dominiert, welche für ihre Prozesse einen hohen Bedarf an elektrischer Energie hat. Dieses Lastprofil wurde mit einem Faktor angepasst, so dass der spezifische Stromverbrauch mit dem Verbrauch gemäss SIA Merkblatt 2024 übereinstimmt. Damit wurde diese spezielle Situation, die den ganzen Strombedarf des Quartiers massiv beeinflusst, korrigiert. Analog wurde der Stromverbrauch für den Verkauf mit einem Faktor angepasst, um im Rahmen der SIA Werte zu liegen.

8.2.3 Gesamtenergieverbrauch

Der thermische und elektrische Energiebedarf ist für die Teilquartiere und für das Gesamtquartier „Cham Ost“ in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt.

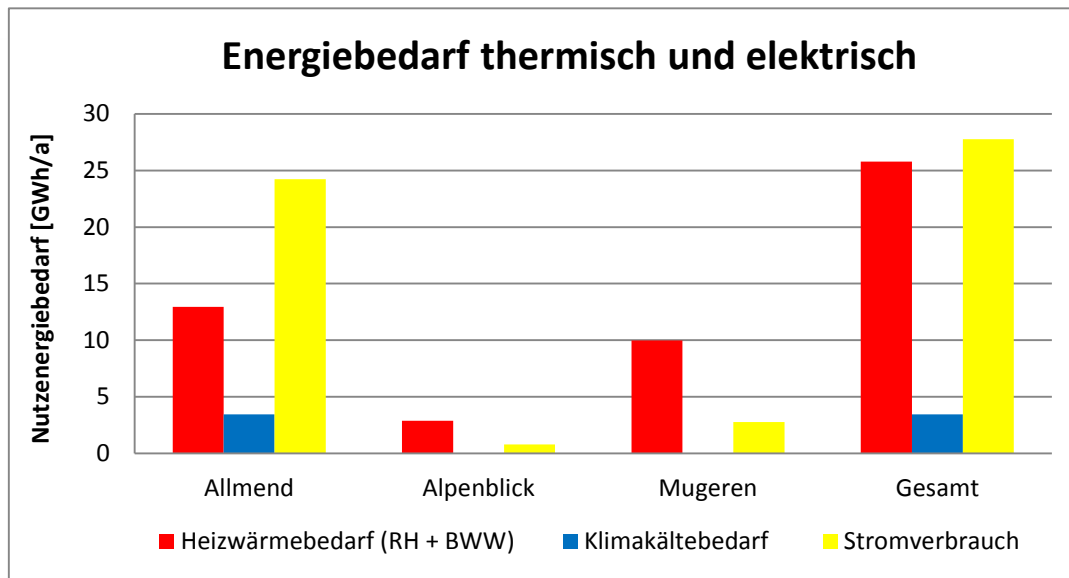


Abbildung 35: Wärmebedarf an Raumheizung und Warmwasser (rot), Klimakältebedarf (blau) und elektrischer Energie (gelb) auf Stufe Nutzenergie.

Der Bedarf an elektrischer Energie im Quartier „Cham Ost“ wird durch das Teilquartier Allmend (Nicht-Wohnbauten) dominiert (24.3 GWh/a gegenüber 3.5 GWh/a beim Wohnen). Der Wärmebedarf in den Wohnquartieren (12.8 GWh/a) ist etwa gleich gross wie in der Allmend (13.0 GWh/a).

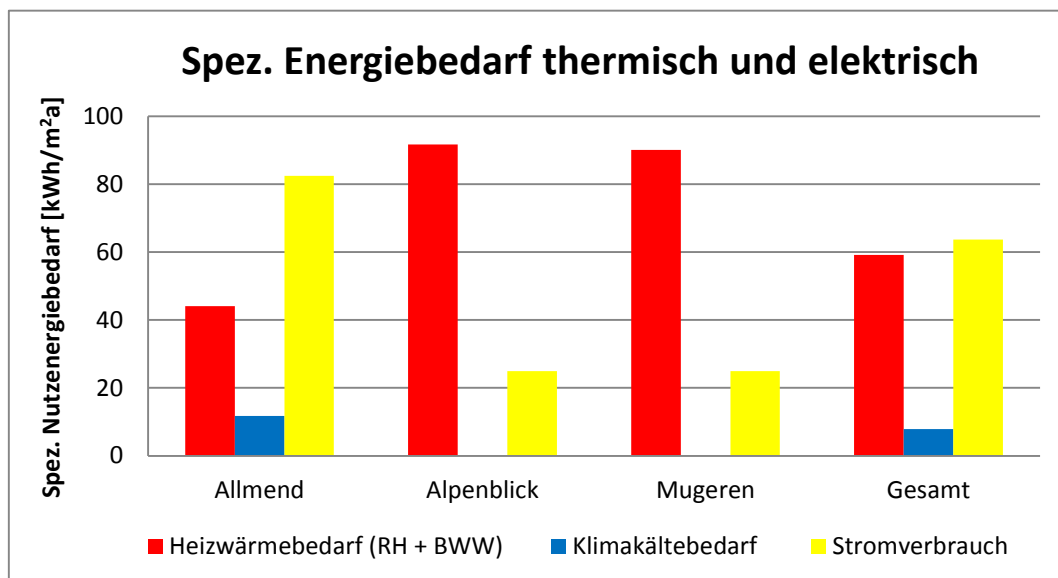


Abbildung 36: Spezifischer Nutzenergie-Wärmebedarf an Raumheizung und Warmwasser (rot), Klimakältebedarf (blau) und elektrischer Energie (gelb), der Gesamtbedarf ist flächengemittelt

Der spezifische Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser ist in den Wohngebieten mit 90.5 kWh/m²a über doppelt so hoch wie in der Allmend (Nicht-Wohnbauten) mit 44 kWh/m²a.

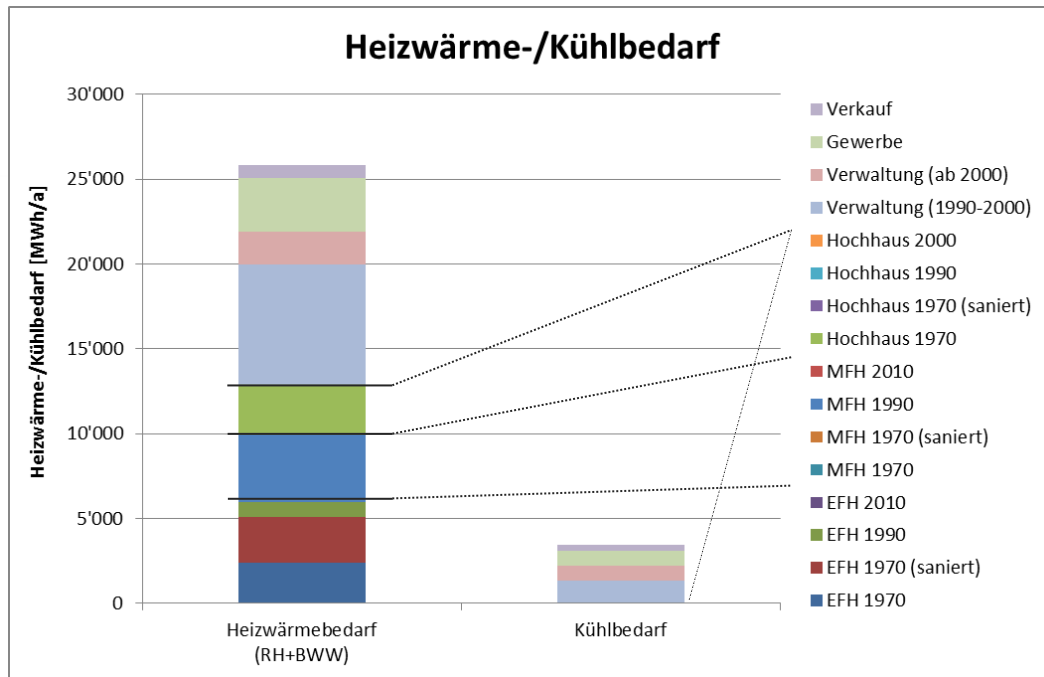


Abbildung 37: Gesamter Heizwärme- und Klimakältebedarf aufgeteilt nach Gebäudekategorien

Im Teilquartier sind die Verwaltungsgebäude, das Gewerbe und der Verkauf für rund die Hälfte des Heizwärmebedarfs und für den gesamten Klimakältebedarf verantwortlich. Anteilsmässig decken sie 68% der Energiebezugsfläche. Die Einfamilienhäuser benötigen knapp einen Viertel des Heizwärmebedarfs obwohl sie nur 12% (EBF) des Gesamtgebiets decken.

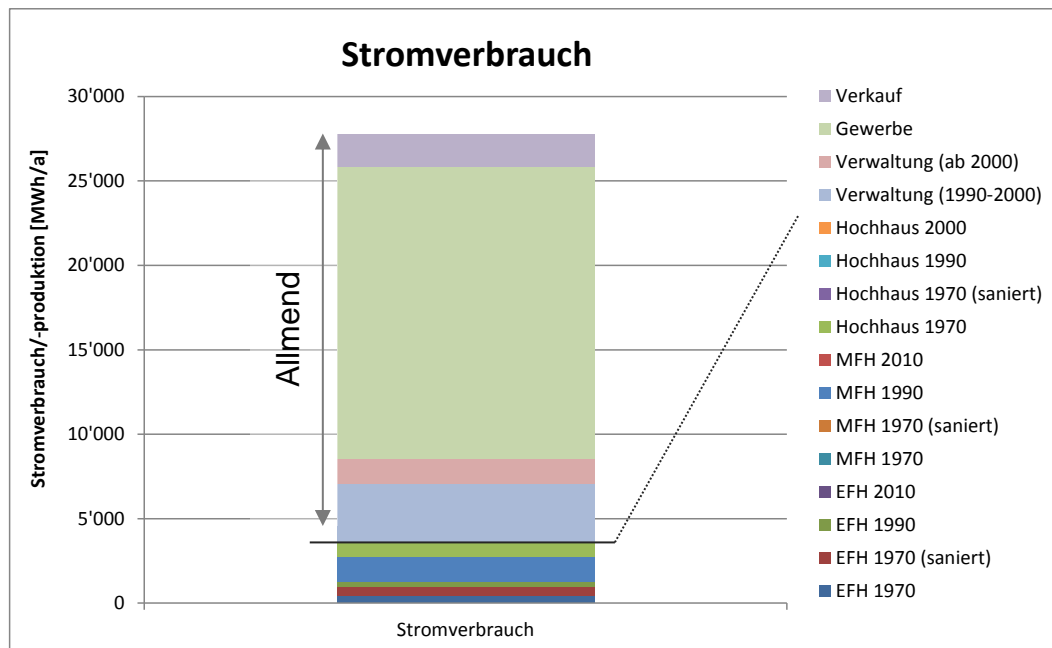
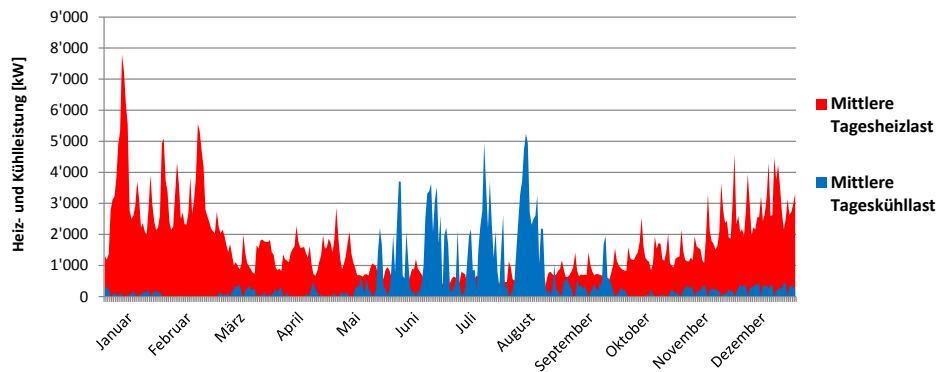


Abbildung 38: Gesamter Stromverbrauch auf dem Areal aufgeteilt nach Gebäudekategorien.

Der absolute Stromverbrauch im Quartier wird hauptsächlich durch das Gewerbe verursacht und dies sowohl aufgrund des hohen spezifischen Stromverbrauchs wie auch aufgrund des hohen Anteils EBF im Areal Allmend, gefolgt von den Gebäudekategorien Verwaltung und Verkauf. Relativ wenig Stromverbrauch weisen die Wohnhäuser im Areal auf. Aus dieser Feststellung lassen sich Potenziale zwischen Stromproduktion und Stromverbrauch zwischen den einzelnen Gebieten erwarten.

8.3 Thermisches Lastprofil

Thermisches Lastprofil Allmend (Nicht-Wohnen)



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

7.8 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

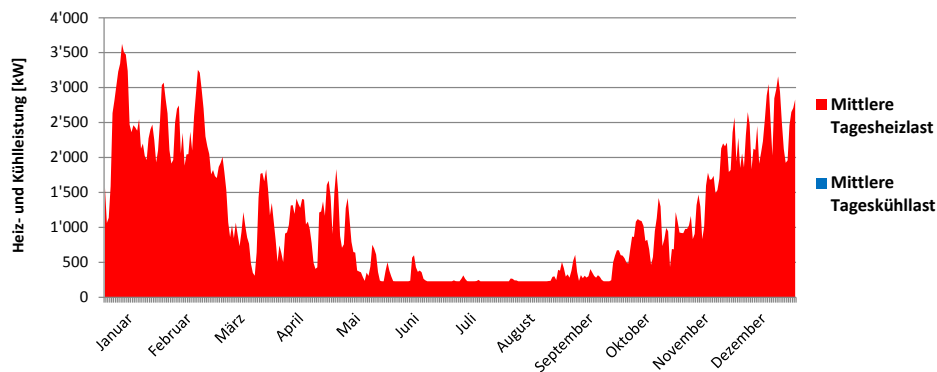
5.2 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

13 / 3.5 GWh

Abbildung 39: Jahresverlauf der mittleren Heiz- und Kühlleistung (pro Tag) Allmend (Nicht-Wohnbauten)

Thermisches Lastprofil Mugeran (EFH und MFH)



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

3.6 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

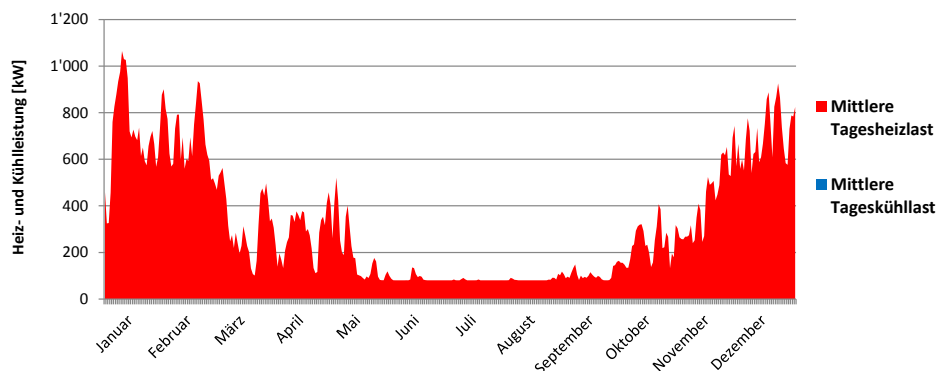
0 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

10 / 0 GWh

Abbildung 40: Jahresverlauf der mittleren Heizlast (pro Tag) Mugeran

Thermisches Lastprofil Alpenblick (Hochhäuser)



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

1.1 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

0 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

2.9 / 0 GWh

Abbildung 41: Jahresverlauf der mittleren Heizlast (pro Tag) Alpenblick

Der Klimakältebedarf tritt in der Allmend auf, wo Verwaltungsgebäude, Gewerbe und Verkauf vorkommen. Im Moment liegt der Klimakältebedarf insgesamt im Vergleich zum Heizwärmebedarf 7.5-mal tiefer (in Allmend alleine rund 3.8-mal tiefer). In den Wohngebieten Mugeran und Alpenblick ist das Heizlastprofil mit BWB-Bandlast im Sommer dargestellt. Die höchste mittlere Tageslast in den Wohngebieten liegt um Faktor 10 höher als die nötige Last an Brauchwarmwasser.



Die Brauchwarmwasserleistung liegt für das Gesamtgebiet bei 500 kW; 175 kW in der Allmend (Nicht-Wohnbauten), 225 kW in Mugerén (EFH und MFH) und 100 kW in Alpenblick. In Tabelle 8, werden die Lasten und Energiemengen in den Teilquartieren zusammengefasst.

In Abbildung 42 werden die mittlere tägliche Heiz- und Kühlleistung des Quartiers „Cham Ost“ aus den thermischen Simulationen dargestellt.

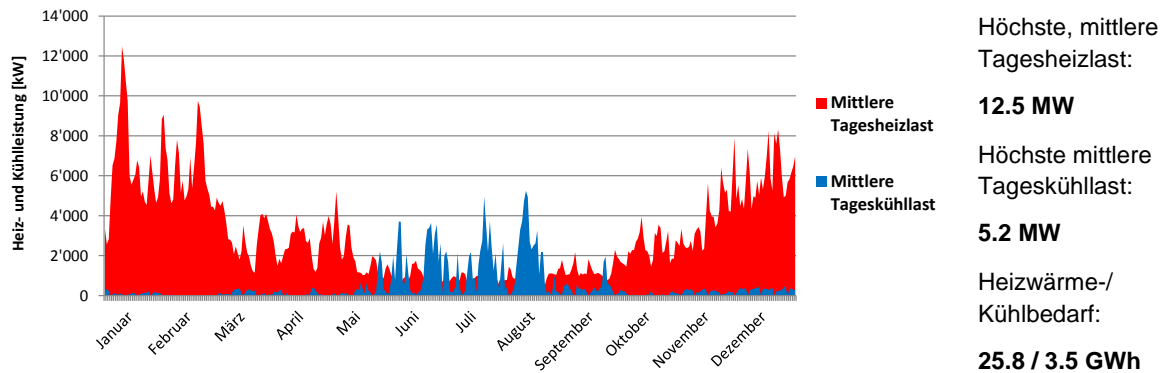


Abbildung 42: Mittlere Heiz- und Kühlleistung im Quartier „Cham Ost“ (Allmend, Mugerén und Alpenblick)

Die höchste mittlere Tagesheizlast im Quartier „Cham Ost“ beträgt rund 12.5 MW und ist etwa doppelt so hoch wie die Kühllast. Die klimabedingte Kühlleistung (blau) und dementsprechend auch der Klimakältebedarf ist im Vergleich zum Heizwärmebedarf sehr niedrig.

Tabelle 8: Energiebezugsfläche, Heizwärme- und Klimakältebedarf im Quartier „Cham Ost“, unterteilt nach den Teilquartieren Allmend, Alpenblick und Mugerén.

	EBF	Heizwärmebedarf (RH + BWW)		Klimakältebedarf		Spez. Heiz- wärmebe- darf	Spez. Kli- makältebe- darf
		Energie	Leistung	Energie	Leistung	Energie	Energie
	[m ²]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Allmend (Nicht- Wohnen)	293'842	12'958	7'795	3'453	5'245	44	12
Mugerén (EFH und MFH)	110'566	9'961	3'626	0	0	90	0
Alpen- blick (Hochhäu- ser)	31'470	2'886	1'064	0	0	92	0
Total	435'878	25'805	12'485	3'453	5'245	59	8



8.4 Elektrisches Lastprofil

Bei der Zusammenstellung des elektrischen Lastprofils wird davon ausgegangen, dass die Wärmeversorgung vollständig über fossile Energieträger (keine WP) erfolgt und dass keine dezentrale Stromproduktion durch PV-Anlagen stattfindet.

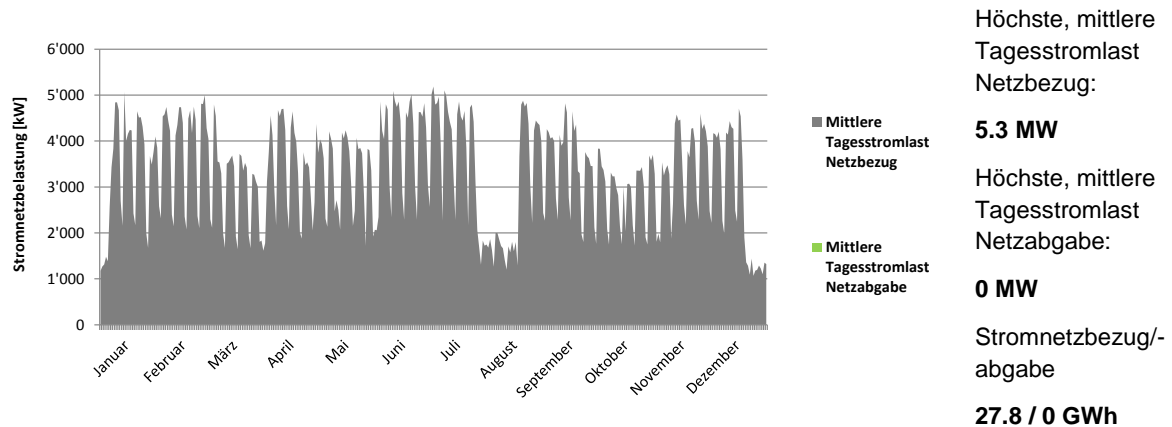


Abbildung 43: Strombezug vom Netz, mittlere Stromlast (pro Tag, Ist-Zustand ohne PV), das Maximum liegt bei 5.3 MW.

Das elektrische Lastprofil ist stark von der Gewerbenutzung geprägt, welche die höchste spezifische Last im Quartier hat (siehe Anhang 15.4). Während den Sommerferien und über die Weihnachtsferien gibt es eine starke Abnahme des Stromverbrauchs. Es ergibt einen Faktor fünf zwischen dem maximalen (rund 5 MW) und minimalen Stromverbrauch (rund 1 MW). Folgend sind die Stromverbräuche in den Teilquartieren zusammengefasst.

Tabelle 9: Energiebezugsfläche, Stromverbrauch und maximale elektrische Leistung im Quartier „Cham Ost“, unterteilt nach Teilquartieren Allmend, Mugerren und Alpenblick.

	EBF	Stromverbrauch			
		Energie	Leistung	Energie	Leistung
		[MWh/a]	[kW]	[kWh/m ² a]	[W/m ²]
	[m ²]				
Allmend (Nicht-Wohnen)	293'842	24'228	4'730	83	16.1
Mugerren (EFH und MFH)	110'566	2'759	453	25	4.1
Alpenblick (Hochhäuser)	31'470	785	129	25	4.1
Total	435'878	27'773	5'312	64	12.2

9 Überblick Szenarien

Ausgehend von der Analyse der IST-Situation des Quartiers „Cham Ost“ wurden verschiedene Szenarien untersucht. Diese Szenarien beziehen sich auf die unter Kapitel 3 formulierten Hypothesen. Alle Szenarien wurden auf ihr Potential zur Reduktion und Ausgleich der thermischen und elektrischen Lasten untersucht.

Nutzungsmix

In diesem Szenario wird die Änderung des Nutzungsmix‘ auf die thermischen und elektrischen Lastprofile untersucht. 20% resp. 50% aller Verwaltungsflächen werden durch Wohnflächen substituiert. Die Fläche der Büronutzungen der Bauperiode 1990-2000 wird durch Einfamilienhäuser der Bauperiode 1990 ersetzt. Dies wurde gemacht, damit ausschliesslich der Einfluss des Nutzungsmix‘ zur Geltung kommt. Die genaue Aufteilung ist im Anhang unter 15.7 dokumentiert.

- 20% Büro in Wohnen (gleiche Bauperiode)
- 50% Büro in Wohnen (gleiche Bauperiode)

Verdichtung

In diesem Szenario werden die Auswirkungen einer Verdichtung von 20% resp. 50% der totalen EBF des Gebiets auf das thermische Lastprofil untersucht. Die neu erstellte Fläche wird auf die Nutzungen Wohnen, Verwaltung und Verkauf verteilt und erhält den neusten energetischen Standard der entsprechenden Kategorie. Grund dafür ist, dass bei einer Verdichtung Gebäude nach dem neuen Standard gebaut werden müssen. Die genaue Aufteilung ist im Anhang unter 15.8 dokumentiert.

- 20% mehr EBF (~47% Wohnen, ~47% Verwaltung, ~6% Verkauf)
- 50% mehr EBF (~47% Wohnen, ~47% Verwaltung, ~6% Verkauf)

Effizienz (Erneuerung)

In diesem Szenario wird der Einfluss einer energetischen Modernisierung von 20% resp. 50% der gesamten EBF untersucht. Dabei werden primär die Wohngebäude auf den neusten Baustandard (2010) gesetzt und in einem zweiten Schritt werden die Verwaltungsgebäude vom Stand „1990-2000“ auf „>2000“ transformiert. Die genaue Aufteilung ist im Anhang unter 15.9 dokumentiert.

- 20% des Bestands auf neusten Standard erneuern
- 50% des Bestands auf neusten Standard erneuern

Bei den Effizienzmassnahmen wird nicht nur die Hülle auf ihr Potenzial zur Entlastung der Lastprofile untersucht sondern auch der Ersatz des Wärmeerzeugers. Es wurde u.a. untersucht, wie sich der Ersatz von fossilen Wärmeerzeugern durch Wärmepumpen auf die Stromnetzbelastung auswirkt.

Dezentrale Erzeugung

In diesem Szenario wird der Einfluss der Belegung der Dachflächen mit Photovoltaik und des Einsatzes von WKK auf die Stromnetzbelastung untersucht (siehe Anhang 15.10):

- Einfluss der Belegung der Dachflächen mit 0% bis 100% Photovoltaik
- Einfluss einer thermisch geführten WKK

Speicher

In diesem Szenario werden ideale thermische und elektrische Tagesspeicher auf ihr Potential untersucht, Peaks zu reduzieren. „Ideal“ bedeutet hier verlustfreie Speicherung. Beim Tagesspeicher wird die gespeicherte Energie innerhalb desselben Tages wieder abgegeben. Die Speicherung der gesamten Abwärme des Quartiers bedingt eine Vernetzung zwischen den verschiedenen Quellen.

- Tagesspeicher

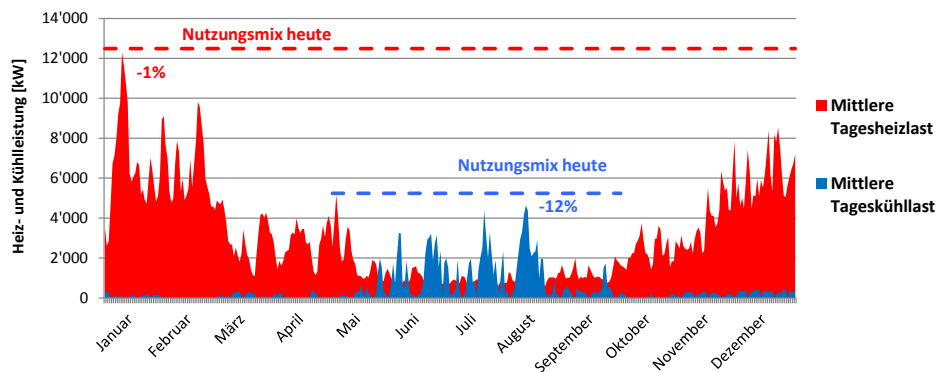
10 Ergebnisse Szenarien

10.1 Nutzungsmix

10.1.1 Potenzial Nutzungsmix – thermische Lasten

Untersucht wurde die Änderung des Nutzungsmix¹. Dabei wurden fiktiv 20% resp. 50% aller Büroflächen in Wohnflächen des gleichen Baujahres umgewandelt. Die höchsten mittleren Tagesheiz- und Tageskühllasten wurden in Abbildung 44 sowie der Nutzenergiebedarf Heizung und Kühlung in Abbildung 45 zusammengefasst.

20% Büro in Wohnen



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

12.3 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

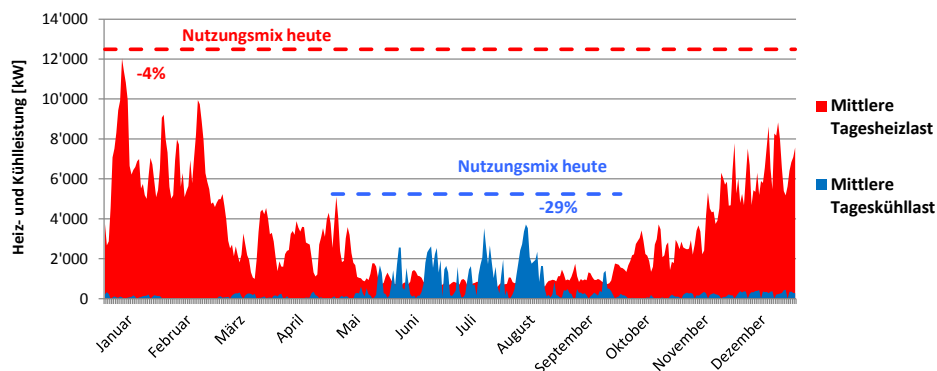
4.6 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

26 / 3.1 GWh

Abbildung 44: Thermisches Lastprofil bei Änderung von 20% aller Verwaltungsflächen in Wohnflächen.

50% Büro in Wohnen



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

12 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

3.7 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

26.4 / 2.5 GWh

Abbildung 45: Thermisches Lastprofil bei Änderung von 50% aller Verwaltungsflächen in Wohnflächen.

Durch die Umnutzung von bestehenden Bürobauten zu Wohnbauten (20% resp. 50% der Fläche) reduziert sich der maximale Heizleistungsbedarf um 1% resp. 4% und der maximale Kühlleistungsbedarf um 12% resp. 29%. Grund für letzteren Punkt ist der tiefere Kühlbedarf von Wohnbauten. Gleichzeitig erhöht sich der Heizenergiebedarf um 1% resp. 2% und der Kühlenergiebedarf reduziert sich um 11% resp. 28%. Interessant zu sehen ist, dass trotz erhöhtem Heizenergiebedarf, die thermischen Lasten reduziert werden können, was hauptsächlich der erhöhten Speichermasse der Wohnbauten zu verdanken ist.

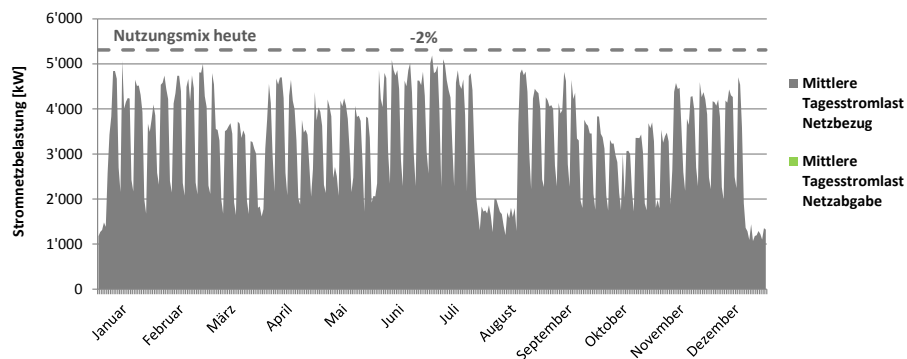
Hinsichtlich der zukünftigen Energiestrategie eines Quartiers, insbesondere bei einer thermischen Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau, ist die Erhöhung des Wohnanteils in bestehenden Büro-

quartieren nicht erwünscht, da das Verhältnis Heiz- zu Kühlbedarf grösser wird und die Abwärmemenge möglicherweise nicht ausreicht, um den Heizenergiebedarf abzudecken.

10.1.2 Potenzial Nutzungsmix – elektrische Lasten

Dieselbe Untersuchung wurde an den elektrischen Lasten gemacht. Die höchsten mittleren Tagesstromlasten des Netzbezuges und der Netzabgabe (in diesem Szenario = nur Stromverbrauch) wurden in Abbildung 46 und in Abbildung 47 zusammengefasst.

20% Büro in Wohnen



Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

5.19 MW

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

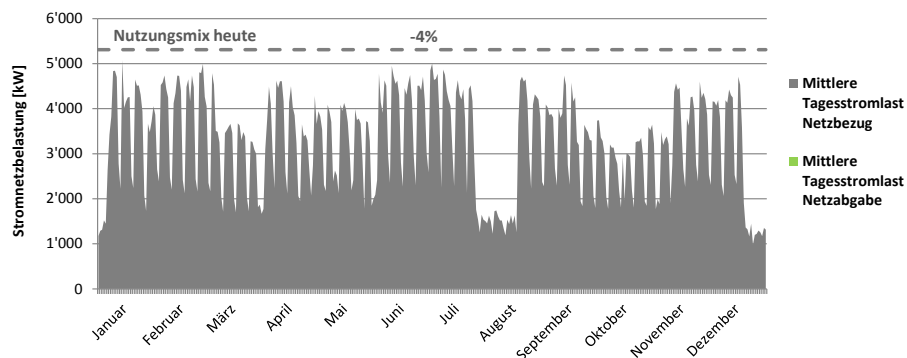
0 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

27.5 / 0 GWh

Abbildung 46: Elektrisches Lastprofil bei Änderung von 20% aller Verwaltungsflächen in Wohnflächen.

50% Büro in Wohnen



Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

5.08 MW

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0 MW

Netzbezug
/Netzabgabe:

27 / 0 GWh

Abbildung 47: Thermisches Lastprofil bei Änderung von 50% aller Verwaltungsflächen in Wohnflächen.

Durch die Umnutzung von bestehenden Bürobauten zu Wohnbauten (20% resp. 50%) reduziert sich die höchste mittlere Tagesstromlast um 2% resp. 4%. Der Stromverbrauch wird um 1% resp. 3% reduziert.

Das Potential, die Stromlasten und Energiebedarf durch die Änderung des Nutzungsmix' herunterzusetzen ist hier limitiert. Im Quartier „Cham Ost“ ist die Gewerbenutzung der höchste Stromverbraucher (siehe Abbildung 38), deshalb ist jede Änderung des Nutzungsmix' ausserhalb dieser Kategorie für die Änderung der Netzbelastung marginal.

Tageslasten

Bis jetzt wurde der Jahresverlauf berücksichtigt (mittlere Tagesleistungen) aber die Verteilung der Lasten innerhalb eines Tages sind entscheidend für das Lastmanagement. In Abbildung 48 werden die Stromlastgänge der verschiedenen Nutzungen im Quartier an einem Beispieltag dargestellt.

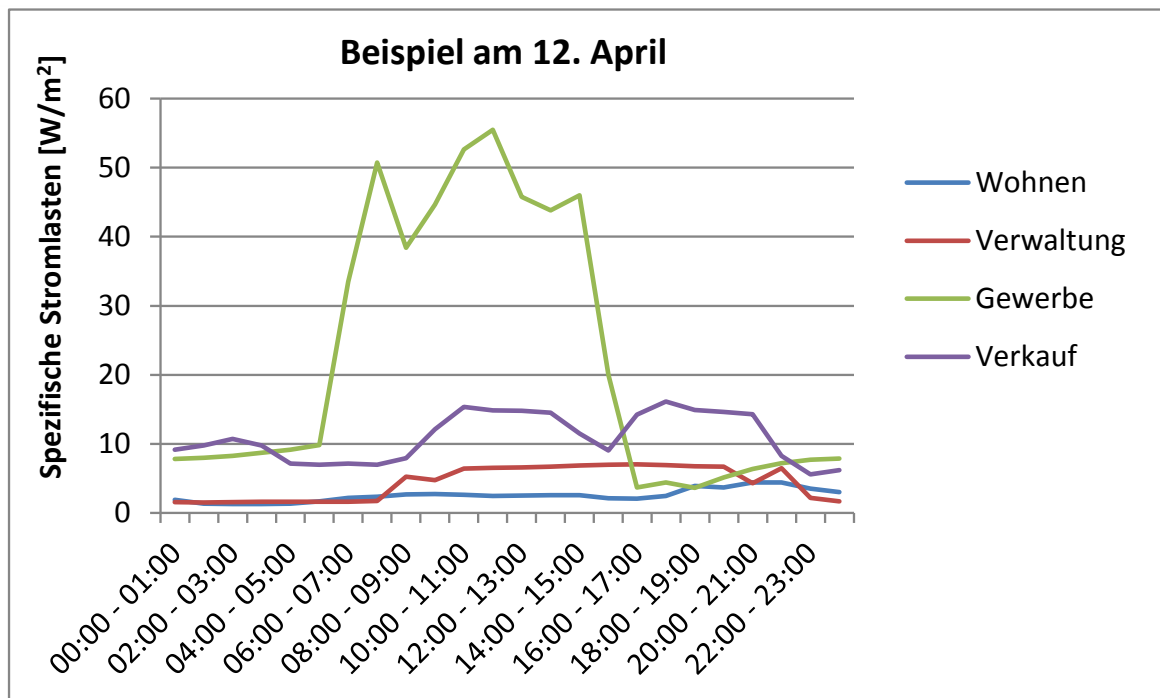
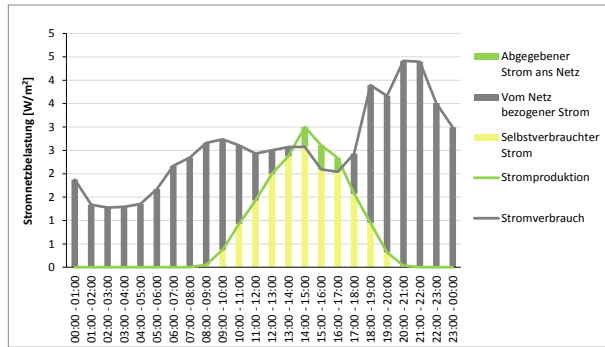
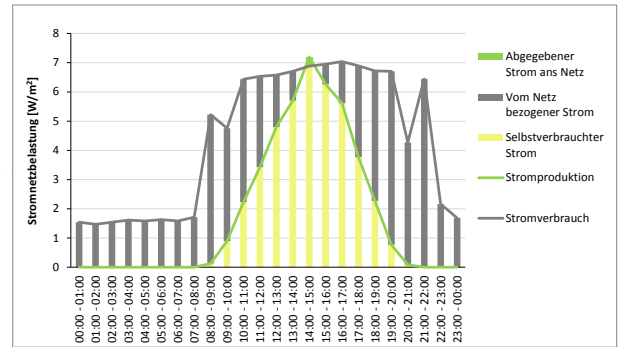


Abbildung 48: Beispiel eines Stromlastgangs an einem Tag (12. April) für die verschiedenen Nutzungen Wohnen, Verwaltung, Gewerbe und Verkauf.

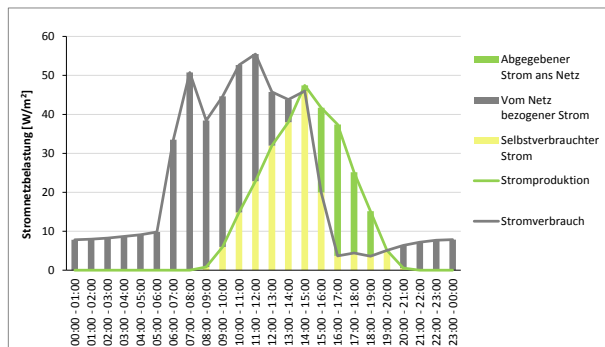
Klar zu sehen, ist dass die Gewerbenutzung mit Spitzenwerten bei 55 W/m^2 dominiert. Das Stromprofil der Gewerbenutzung tagsüber zeigt ebenfalls hohes Potential für die Integration von PV-Anlagen auf Gewerbedächern (Abbildung 49), da ähnlich wie das Produktionsprofil einer PV-Anlage. Abendpeaks sind bei den Nutzungen Verkauf, Wohnen aber auch Verwaltung festzustellen. Ein Lastausgleich wäre für so eine Konstellation denkbar, falls der Nutzungsmix aus 95% Wohnanteil und 5% Gewerbeanteil besteht. Abbildung 49 zeigt pro Nutzung, wie viel PV-Fläche pro EBF sinnvoll wäre, damit der Eigenverbrauchsanteil maximiert werden könnte.



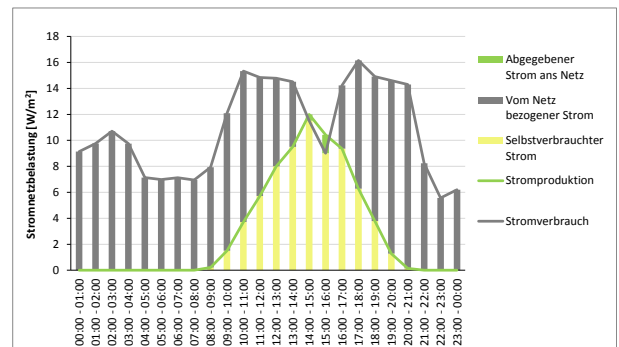
Wohnen: $0.25 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$



Büro: $0.6 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$



Gewerbe: $4 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$



Verkauf: $1 \text{ m}^2_{\text{PV}}/\text{m}^2_{\text{EBF}}$

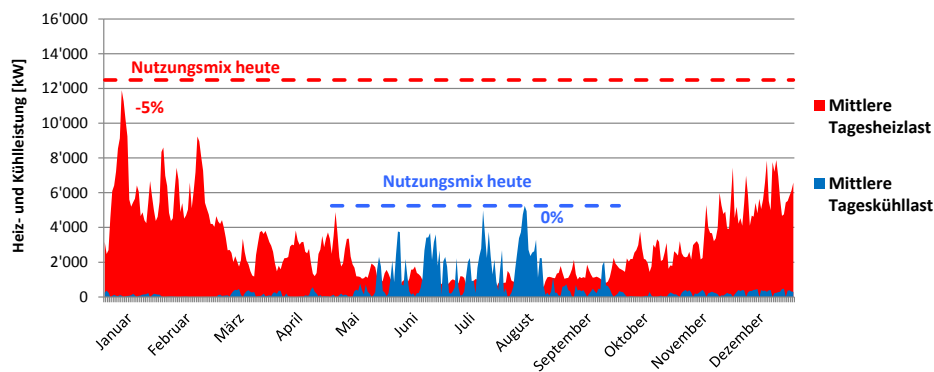
Abbildung 49: Bezugs- und Abgabepprofile für vier Nutzungen am 12. April mit Angabe zur idealen PV-Fläche für einen maximalen Eigenverbrauchsanteil. Die Gewerbenutzung kann am meisten Fläche pro EBF-Fläche aufnehmen, damit über das Jahr den maximalen Eigenverbrauchsanteil erreicht wird

10.2 Verdichtung

10.2.1 Potenzial Verdichtung – thermische Lasten

Untersucht wurde eine Verdichtung im Quartier „Cham Ost“. Dabei wurden 20% resp. 50% EBF, unterteilt in Wohnen, Verwaltung und Verkauf, zur bestehenden Fläche addiert. Daraus wurden die höchsten mittleren Tagesheizleistungen (normiert auf die gleiche EBF wie heute) im Jahr bestimmt.

+ 20% EBF



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

11.9 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

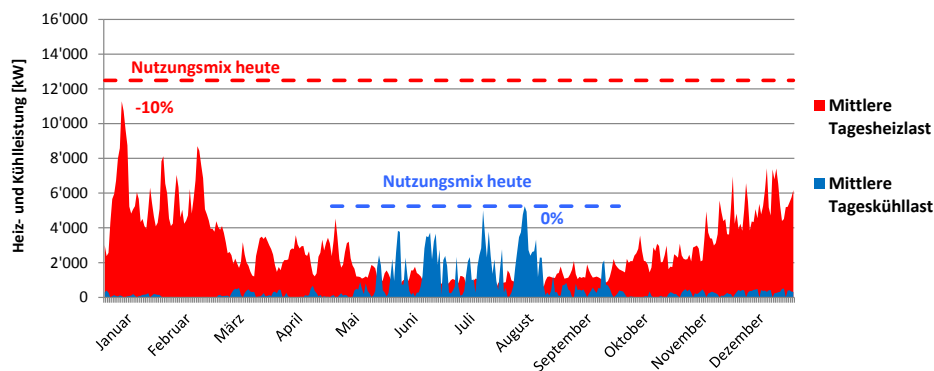
5.2 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

24.6 / 3.7 GWh

Abbildung 50: Thermisches Lastprofil bei 20% mehr EBF im Quartier.

+ 50% EBF



Höchste, mittlere
Tagesheizlast:

11.2 MW

Höchste, mittlere
Tageskühllast:

5.2 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

23.3 / 3.9 GWh

Abbildung 51: Thermisches Lastprofil bei 50% mehr EBF im Quartier.

Bei einer Verdichtung (zusätzliche Energiebezugsfläche), werden die Heizlasten um 5% resp. 10% reduziert, während die Kühllasten auf gleichem Niveau bleiben. Eine Verdichtung reduziert den Heizenergiebedarf ebenfalls um 5% resp. 10% und erhöht den Kühlenergiebedarf um 7% resp. 12%.

Ungleich bei der Änderung des Nutzungsmix', können hier durch den besseren Standard der zugebauten Gebäude die Heizleistung und der Heizenergiebedarf reduziert werden, ohne dass der Kühlleistungsbedarf erhöht wird. Grund dafür ist der bessere Standard und die Speichermasse der Wohnbauten. Bei den Kühllasten ist festzustellen, dass neuere Bürobauten bei gleicher maximaler Leistung mehr Kühlenergie über das Jahr benötigen. Die Kühlanlage wird früher im Jahr eingeschaltet und später im Jahr abgeschaltet, ohne dabei die Lastspitze im Sommer zu erhöhen.

Eine Änderung des Nutzungsmix' wird in Zukunft höchstwahrscheinlich durch Verdichtung erfolgen. Umbauten oder Neubauten müssen bei der Erstellung die gängigen Standards erfüllen und somit wird eine Verdichtung immer mit einer Reduktion des flächenspezifischen Heizwärmebedarfs und einem Ausgleich zwischen Heizwärme und Klimakältebedarf verbunden sein, sprich interessant für eine thermische Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau.

10.2.2 Potenzial Verdichtung – elektrische Lasten

Dieselbe Untersuchung wurde bei den elektrischen Lasten gemacht. Die höchsten mittleren Tagesstromlasten des Netzbezuges und der Netzabgabe (in diesem Szenario: nur Stromverbrauch) wurden in Abbildung 52 und in Abbildung 53 zusammengefasst.

+ 20% EBF

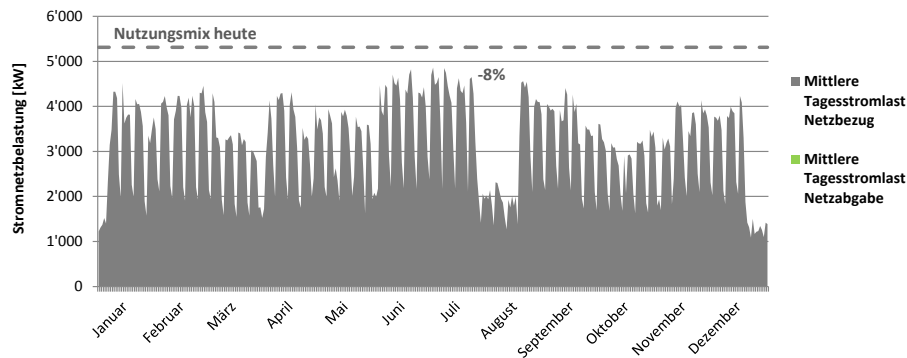


Abbildung 52: Elektrisches Lastprofil bei 20% mehr EBF im Quartier.

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

4.86 MW

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

25.7 / 0 GWh

+ 50% EBF

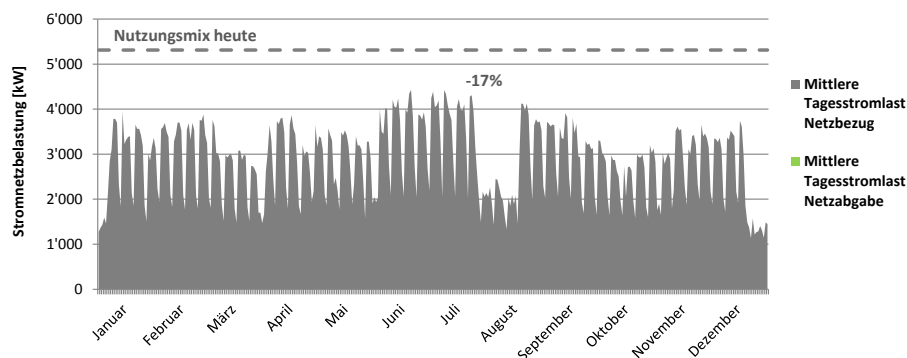


Abbildung 53: Elektrisches Lastprofil bei 50% mehr EBF im Quartier.

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

4.43 MW

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

23.5 / 0 GWh

Bei einer Verdichtung durch zusätzliche Energiebezugsfläche werden die Stromlasten um 8% resp. 17% reduziert. Der Stromverbrauch an der Quartiergrenze wird um 7% resp. 15% reduziert. Diese starke Reduktion von Leistung und Energie hat hauptsächlich damit zu tun, dass sich der Nutzungsmix zugunsten der Wohn- und Bürobauten verschiebt und der Anteil an Gewerbenutzung geringer wird.

Das Potential die spezifischen Stromlasten und den Energiebedarf durch eine Verdichtung herunterzusetzen ist gross, auch wenn absolut gesehen die Stromlasten erhöht werden. Im Quartier „Cham Ost“ ist die Gewerbenutzung der höchste Stromverbraucher (siehe Abbildung 38), deshalb ist eine verhältnismässige Reduktion der Gewerbenutzung im Quartier für die Änderung der Netzbelastung hoch.

10.3 Effizienz (Erneuerung)

10.3.1 Potenzial Erneuerung – thermische Lasten

In diesem Szenario wird der Einfluss einer Modernisierung von 20% resp. 50% der gesamten EBF untersucht. Dabei werden primär die Wohngebäude auf den neusten Baustandard (2010) gesetzt und in einem zweiten Schritt werden die Verwaltungsgebäude vom Stand „1990-2000“ auf „>2000“ gesetzt. Die genaue Aufteilung ist im Anhang unter 15.9 dokumentiert.

Bei den Effizienzmassnahmen wird nicht nur die Hülle auf ihr Potenzial zur Entlastung der Lastprofile untersucht, sondern auch der Ersatz des Wärmeerzeugers. Es wurde untersucht, wie sich der Ersatz von fossilen Wärmeerzeugern durch Wärmepumpen auf die Stromnetzbelastung auswirkt. Die Wahl des Energieträgers hat keinen Einfluss auf die thermischen Lasten, deshalb wird hier nur der Erneuerungsstand betrachtet.

Erneuerung 20% Gebäudebestand

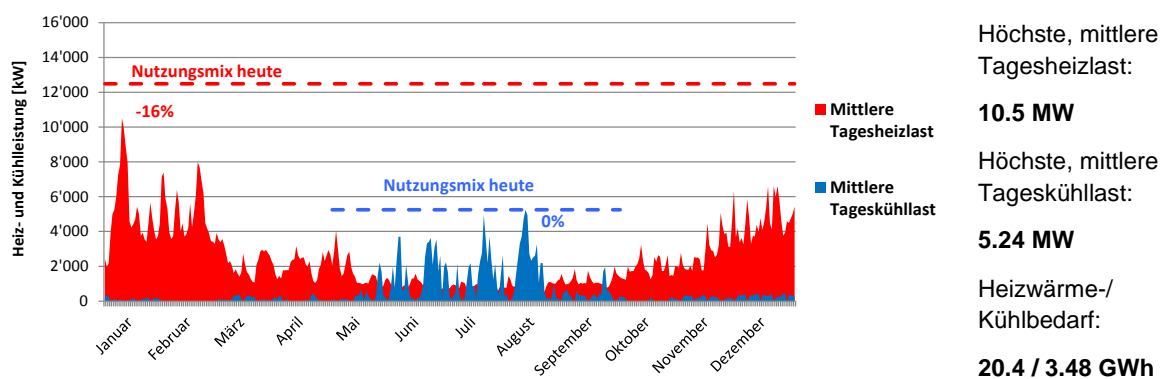


Abbildung 54: Thermisches Lastprofil bei 20% Erneuerung des Gebäudebestands.

Erneuerung 50% Gebäudebestand

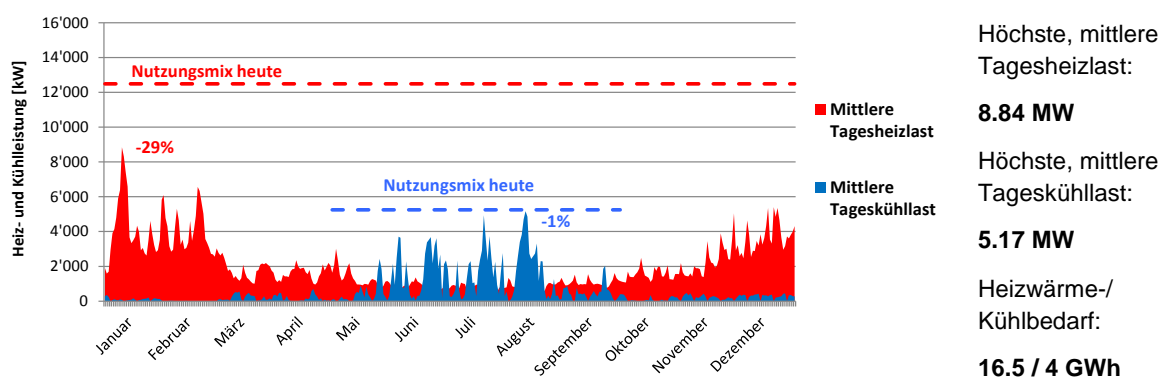


Abbildung 55: Thermisches Lastprofil bei 50% Erneuerung des Gebäudebestands.

Effizienzmassnahmen wie die Erneuerung von Gebäuden im Quartier haben einen substantiellen Einfluss auf die Reduktion der thermischen Lasten (-16% resp. -29%) ohne die Kältelasten zu erhöhen. Der fiktive Ersatz von älteren Bürobauten durch neuere erhöht die maximalen Kältelasten nicht, sondern nur den Kältebedarf (es wird früher gekühlt). Der Heizenergiebedarf wird stark reduziert (-21% resp. -36%). Der Kältebedarf wird um 15% erhöht.

Dieses Szenario leistet den grössten Beitrag zur Reduktion der Heizlasten (Leistung und Energie) und schafft ausserdem einen energetischen Ausgleich zwischen Heiz- und Kühlbedarf ohne die Kältelas-

ten zu erhöhen, was wiederum für eine thermische Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau vielversprechend ist.

10.3.2 Potenzial Erneuerung – elektrische Lasten

Die energetische Qualität der Gebäudehülle hat hier (keine Wärmepumpen) keinen Einfluss auf die elektrischen Lasten, da die spezifischen Verbräuche für die gleiche Gebäudekategorie unabhängig vom Baujahr betrachtet wurden. Deshalb wird in Abbildung 56 und Abbildung 57 ausschliesslich für 50% Erneuerung zwischen den Energieträgern unterschieden.

Erneuerung 50% Gebäudebestand – 100% Fossil

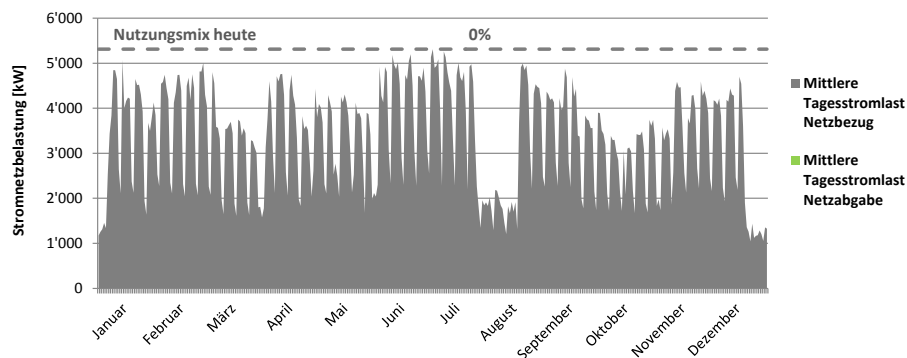


Abbildung 56: Elektrisches Lastprofil bei 50% Erneuerung des Gebäudebestands und 100% Einsatz von fossilen Energieträgern für die Heizung.

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

5.3 MW

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

27.8 / 0 GWh

Erneuerung 50% Gebäudebestand – 100% Wärmepumpen

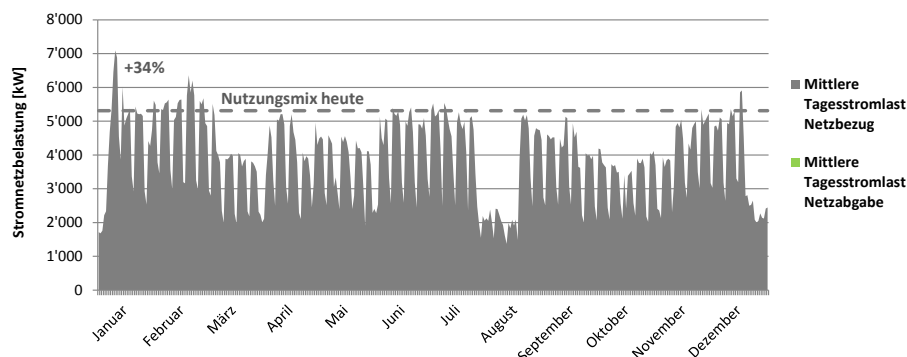


Abbildung 57: Elektrisches Lastprofil bei 50% Erneuerung des Gebäudebestands und 100% Einsatz von Wärmepumpen für die Heizung.

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

7.1 MW

Höchste, mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

32.4 / 0 GWh

Wie oben erwähnt, schneidet das Stromlastprofil gleich ab wie heute. Der Einsatz von 100% Wärmepumpen hat die unerwünschte Wirkung, dass die Stromlasten dadurch um 34% erhöht werden bei einer Erhöhung von 17% des Stromverbrauchs.

Dieser Punkt ist für den Netzbetreiber für die Dimensionierung der Netzebenen von hoher Bedeutung, vor allem wenn die Spitze im Winter auftritt, dann wenn sowieso schon die höchste Netzbelastung auftritt (Strassenbeleuchtung usw.).

Einfluss PV-Anlage zur Reduktion der Spitze

In einer separaten Untersuchung wurde festgestellt, dass bei diesem Erneuerungsstand, die dezentrale Stromproduktion durch PV (40% Dachbelegung), die höchste mittlere Tageslast nur marginal reduziert wird (von 7.10 MW auf 7.07 MW). Grund dafür ist, dass die höchste Verbrauchsspitze dann auftritt, wenn wenig Strom durch PV produziert wird.



10.3.3 Potenzial Effizienz – Primärenergie nicht erneuerbar und THG-Emissionen

Die Veränderung des Wärmeerzeugers und der energetischen Modernisierung der Gebäudehülle wurde ebenfalls über die Primärenergie nicht erneuerbar und die Treibhausgasemissionen bewertet.

Annahmen für die Berechnungen

Es wurde angenommen, dass alle Nicht-Wohnbauten der Nutzung Büro zugeordnet werden, da im SIA Merkblatt 2040 Ausgabe 2011 nur die Nutzungen Wohnen, Büro und Schule ausgewiesen werden. Es wurde nur der Betrieb betrachtet, nicht aber die Erstellung und der Rückbau und auch nicht die induzierte Mobilität.

Die fossilen Wärmeerzeuger wurden im Verhältnis 2 Ölheizungen pro 1 Gasheizung berücksichtigt (Kapitel 6.4.4). Für die fossilen Wärmeerzeuger wurde ein thermischer Wirkungsgrad von 0.85 (gemäss SIA MB 2031) angenommen, für die Kältemaschinen eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3.0. Für den Einsatz von Wärmepumpen eine JAZ von 3.5 für Raumheizung und Warmwasser eingesetzt (3.0 für Wohnen und 4.0 für Nicht-Wohnbauten).

Tabelle 10: Richtwerte für den Betrieb gemäss SIA Merkblatt 2040 für Wohnen, Büro und das Quartier „Cham Ost“

		Umbau		
		Wohnen	Büro	„Cham Ost“
PE n.e.	[kWh/m ² a]	69.4	97.2	88.1
THG-Emissionen	[kg/m ² a]	5	7	6.3

Tabelle 11: Standardwerte Strombedarf Betrieb gemäss SIA MB 2040 für „Cham Ost“

Strombedarf Betrieb (Standardwerte SIA MB2040)	Wohnen	Büro	„Cham Ost“
Hilfsenergie RW WW	2 MJ/m ²	2 MJ/m ²	
Lüftung Klima	6 MJ/m ²	10 MJ/m ²	
Beleuchtung	12 MJ/m ²	30 MJ/m ²	
Betriebseinrichtungen	26 MJ/m ²	29 MJ/m ²	
Summe Betrieb	46 MJ/m ²	71 MJ/m ²	
Summe Betrieb	12.8 kWh/m²	19.7 kWh/m²	17.4 kWh/m²
Summe Quartier absolut	1'815 MWh/a	5'760 MWh/a	7'575 MWh/a

Für die Umrechnung der Endenergie auf die Primärenergie nicht erneuerbar und die Treibhausgase wurde für die fossilen Energieträger ein quartiereigener Wert errechnet:

Tabelle 12: Primärenergiefaktoren nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen des Quartiers „Cham Ost“ gemäss SIA MB 2040

	Erdöl EL	Erdgas	„Cham Ost“-Mix Öl-Gas 2:1	Strom (CH-Verbrauchsmix)
PE n.e.	1.23	1.11	1.1900	2.64
THG-Emissionen [kg CO ₂ äq/kWh]	0.2988	0.2376	0.2784	0.1476

10.3.4 Vergleich Varianten

Es wurden die Varianten IST (heute), 20% Hülle energetisch modernisiert und 50% der Hülle modernisiert in Kombination mit 100% fossiler Heizung, 50% fossil und 50% Wärmepumpe, sowie mit 100% Wärmepumpe (JAZ 3.5) verglichen.

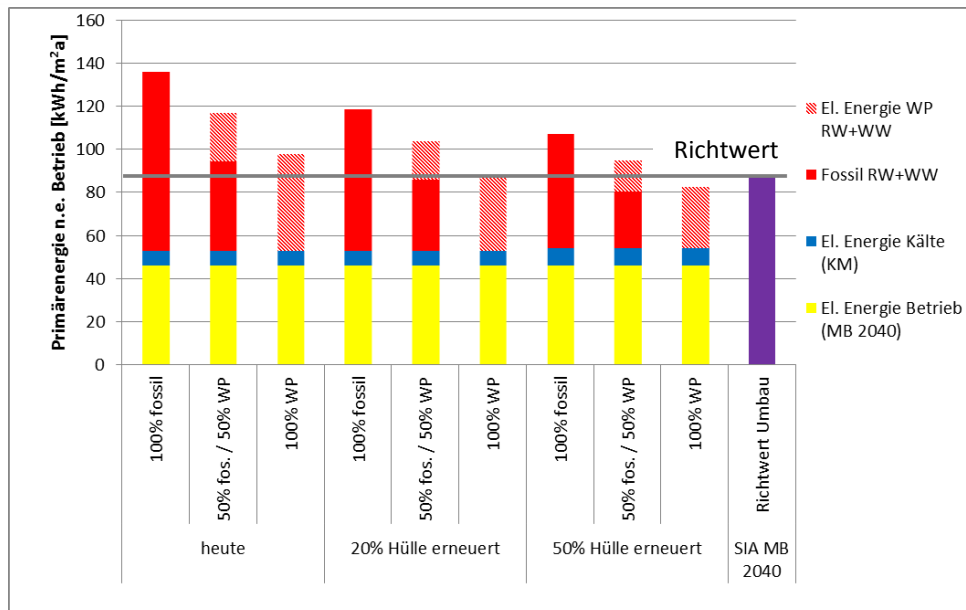


Abbildung 58: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar Betrieb der Varianten Heute, 20% Hülle erneuert, 50% Hülle erneuert und Wechsel Wärmeerzeugung fossil zu 50%, resp. 100% Wärmepumpe mit CH-Verbrauchsmix (ohne Graue Energie)

Um den Richtwert Umbau für den Betrieb des Gebäudes gemäss SIA Merkblatt 2040 Effizienzpfad Energie zu erreichen, müssten mindestens 20% der Gebäudehülle modernisiert und alle Wärmeerzeuger auf Wärmepumpen umgestellt werden.

Da die Berechnungen mit Schweizer Verbrauchermix für Strom gemacht wurden, ergibt sich mit dem Wechsel von fossil auf Wärmepumpen noch keine deutliche Abnahme der Primärenergie nicht erneuerbar. Erst ein Wechsel zu Strom aus erneuerbaren Energiequellen würde diese Bilanz deutlich zugunsten der Wärmepumpe verschieben. Es fällt auf, dass die elektrische Energie für die Hilfsbetriebe (gelb) einen dominanten Anteil am Primärenergiebedarf ausmacht.

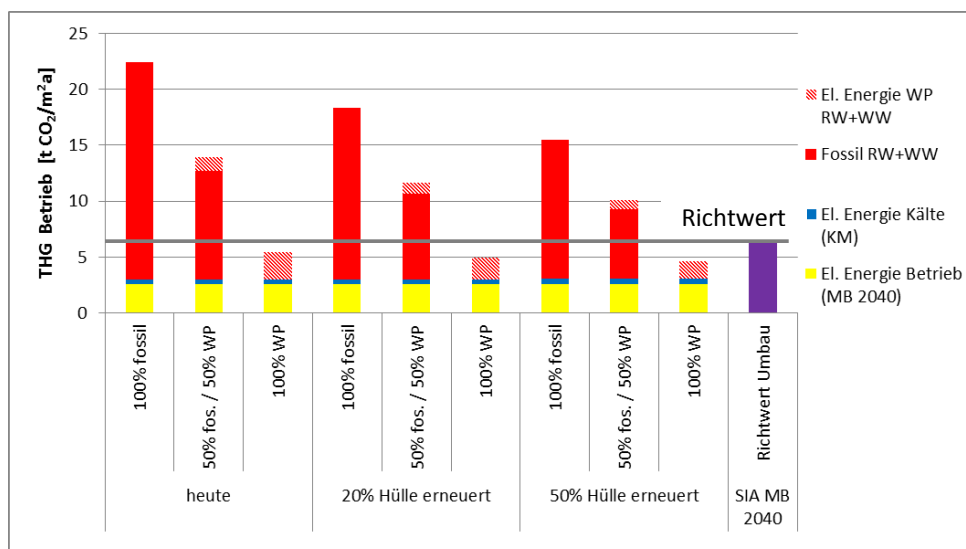


Abbildung 59: Treibhausgasemissionen Betrieb der Varianten Heute, 20% Hülle erneuert, 50% Hülle erneuert Hülle und Wechsel Wärmeerzeugung fossil zu Wärmepumpe mit CH-Verbrauchsmix

Bei den Treibhausgasen ist die grösste Hebelwirkung im Quartier „Cham Ost“ über die Wärmeerzeugung zu erreichen. Die Richtwerte für Umbau gemäss SIA MB 2040 werden mit den aktuellen Primärenergiefaktoren und THG-Emissionsfaktoren nur erreicht wenn 50% des Gebäudebestands energetisch modernisiert werden und alle Wärmeerzeuger durch Wärmepumpen ersetzt werden. Die Primärenergiefaktoren entsprechen den Werten des SIA MB 2040: 2011, für Strom wurde der Schweizer Verbrauchsmix eingesetzt.

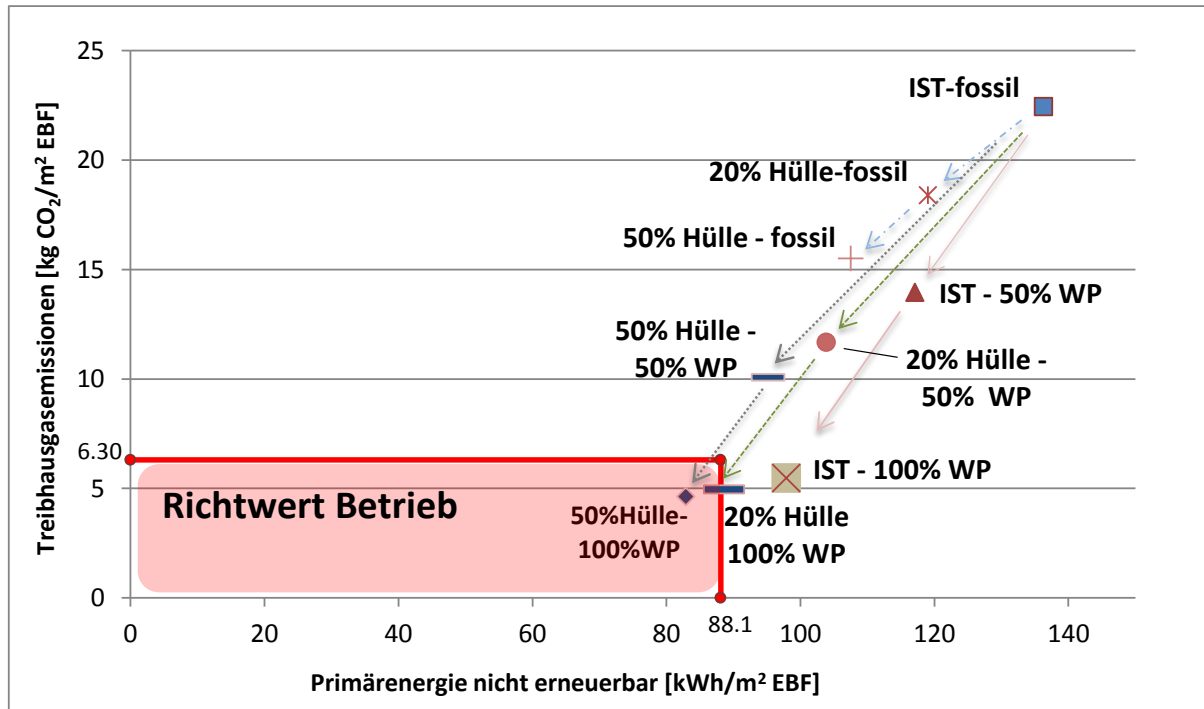


Abbildung 60: Darstellung der verschiedenen Varianten mit den Zielwerten gemäss SIA MB 2040

Die Erneuerung der Gebäudehülle von 20% der Energiebezugsflächen hat die gleiche Wirkung bezüglich Primärenergiebedarf wie der Ersatz von 50% fossiler Wärmeerzeuger durch Wärmepumpensysteme. Hingegen reduziert der Ersatz der Wärmeerzeugung die Treibhausgase stärker als die Erneuerung der Gebäudehüllen. Die Richtwerte gemäss SIA Merkblatt 2040 für den Betrieb werden nur dann eingehalten, wenn 50% der Gebäude saniert werden und 100% der fossilen Heizungen durch Wärmepumpen ersetzt werden.

Erneuerung 50% Gebäudebestand – 100% WKK – 0% PV

Wenn in einer Siedlung durch die energetische Optimierung der Gebäudehülle der Heizwärmebedarf stark reduziert werden kann, bekommt der Energiebedarf für Warmwasser eine immer grössere Bedeutung. Durch diese Bandlast für die Warmwassererzeugung wird WKK interessant. Diese liefert Bandlast-Wärme und indirekt Strom, so dass nur noch wenig Spitzendeckung für die Heizung über ein anderes System nötig wird.

Der Einsatz einer WKK für das Quartier „Cham Ost“ ist aufgrund der Dimensionierung (Sommer / Winter) als alleinstehende Einheit für die Versorgung des Quartiers weniger wahrscheinlich. Dennoch wurde eine WKK-Anlage mit einem Wirkungsgrad elektrisch von 0.35 und einem Wirkungsgrad thermisch von 0.50 für den Fall ohne dezentrale Stromproduktion durch PV und einmal für den Fall mit dezentraler Stromproduktion durch PV untersucht.

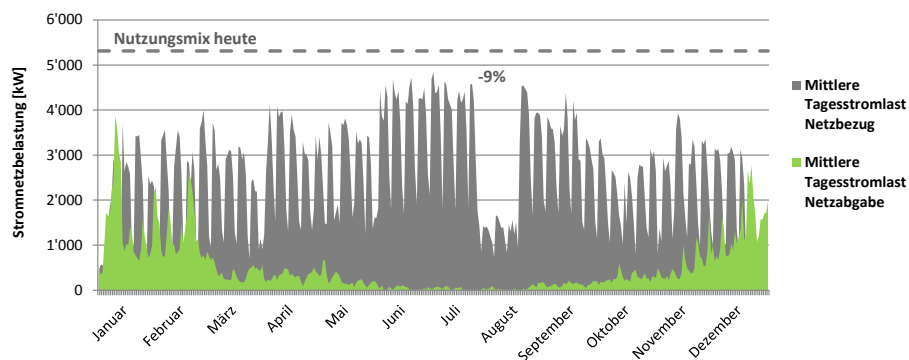


Abbildung 61: Elektrisches Lastprofil bei 50% Erneuerung der Gebäudehülle des Gebäudebestands und 100% Einsatz von Wärmepumpen für die Heizung.

Höchste mittlere Tagesstromlast Netzbezug:

4.8 MW

Höchste mittlere Tagesstromlast Netzabgabe:

3.88 MW

Netzbezug / Netzabgabe:

21.72 / 2.45 GWh

Erneuerung 50% Gebäudebestand – 100% WKK – 40% PV

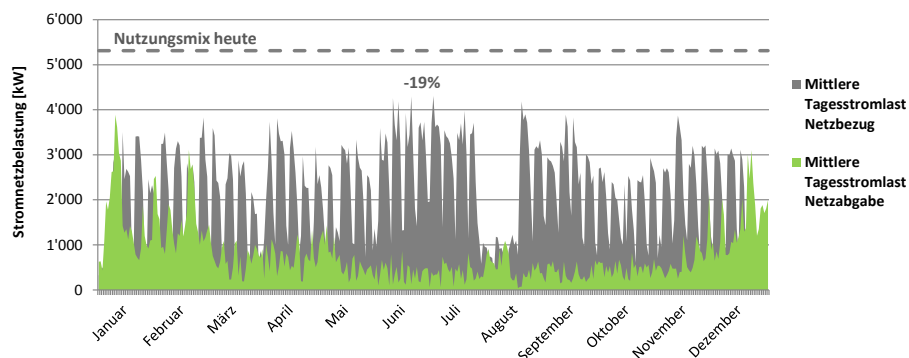


Abbildung 62: Elektrisches Lastprofil bei 50% Erneuerung der Gebäudehülle des Gebäudebestands und 100% Einsatz von Wärmepumpen für die Heizung.

Höchste mittlere Tagesstromlast Netzbezug:

4.3 MW

Höchste mittlere Tagesstromlast Netzabgabe:

3.89 MW

Netzbezug / Netzabgabe:

18.4 / 4.54 GWh

WKKs erzielen eine Reduktion von 9% der Strombezugslasten und Reduktion von 22% des Strombezugs an der Quartiergrenze. WKK reduzieren vor allem die maximalen Stromlasten im Winter.

WKK und PV (40% der Dachfläche im Quartier) erzielen eine Reduktion der Strombezugslasten um 19% und eine Reduktion des Strombezugs an der Quartiergrenze um 34%. Die PV-Anlagen reduzieren die Stromlasten im Sommer.

Die überschüssige Stromproduktion muss zurückgespeist werden oder im Quartier umgewandelt oder gespeichert werden (Energy Hub).

Durch ein Lastmanagement kann bestimmt noch mehr Potenzial realisiert werden.

10.4 Dezentrale Erzeugung

10.4.1 Potenzial dezentrale Erzeugung – elektrische Lasten

In diesem Szenario wurde für die dezentrale Erzeugung ausschliesslich Strom berücksichtigt, deshalb hat dieses Szenario keinen Einfluss auf die thermischen Lasten. Dieses Szenario untersucht beim heutigen Stand der Bauten eine dezentrale Stromerzeugung durch PV-Anlagen, die 40% aller Dachflächen im Quartier decken. Einmal wird die Untersuchung für den Fall gemacht, wenn alle Gebäude durch fossile Energieträger beheizt werden und einmal für den Fall, wenn alle Gebäude durch Wärmepumpen beheizt werden. Die Aufteilung und Orientierung der PV-Flächen auf den Dachflächen ist im Anhang 15.10 zusammengefasst. Abbildung 63 und Abbildung 64 zeigen grau die Stromlastprofile (Netzbezug an der Quartiergrenze) und grün die Stromabgabepprofile (Netzabgabe an der Quartiergrenze).

Nutzungsmix heute – PV 40% – 100% Fossil

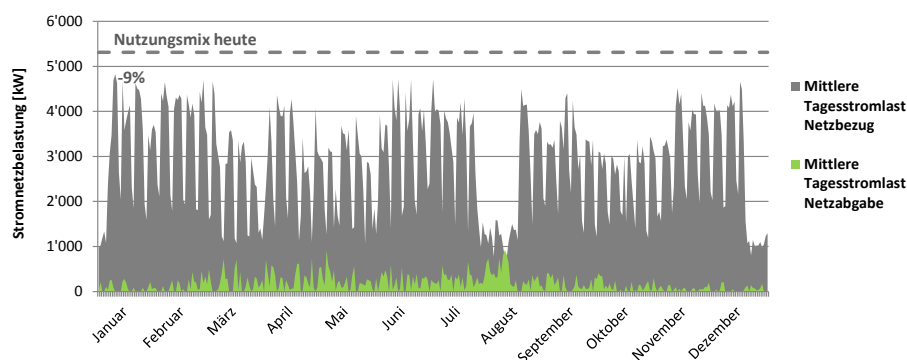


Abbildung 63: Elektrisches Lastprofil mit 40% Dachbelegung durch PV-Anlagen und 100% Einsatz von fossilen Energieträgern für die Heizung.

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

4.8 MW

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0.9 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

22.6 / 0.4 GWh

Nutzungsmix heute – PV 40% – 100% Wärmepumpen

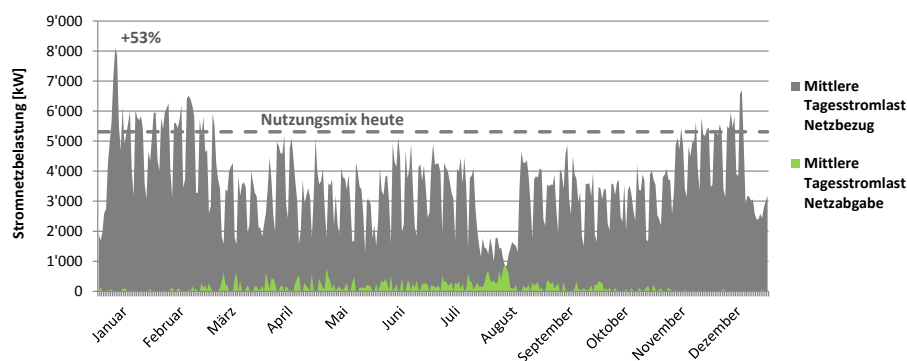


Abbildung 64: Elektrisches Lastprofil mit 40% Dachbelegung durch PV-Anlagen und 100% Einsatz von Wärmepumpen für die Heizung.

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

8.1 MW

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0.86 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

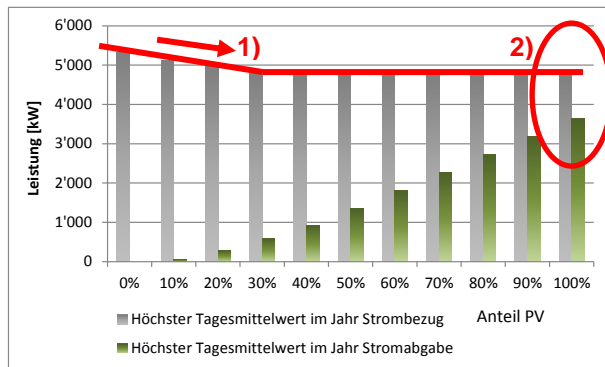
29.7 / 0.3 GWh

Durch den Einsatz von PV-Anlagen kann die Netzbelastung im Quartier bei 100% fossilen Energieträgern um 9% reduziert werden. Anders stellt sich die Situation dar, wenn die Gebäude zu 100% mit Wärmepumpen beheizt werden: in diesem Fall werden die höchsten mittleren Tageslasten um bis zu 53% erhöht. Festzustellen ist, dass über ein Jahr betrachtet der Peak der Netzabgabe (grün) nie den Peak des Netzbezugs (grau) übersteigt. Durch den Eigenverbrauch an Strom wird der Energiebezug um 19% reduziert (bei 100% fossil) und um 7% erhöht (bei 100% WP).

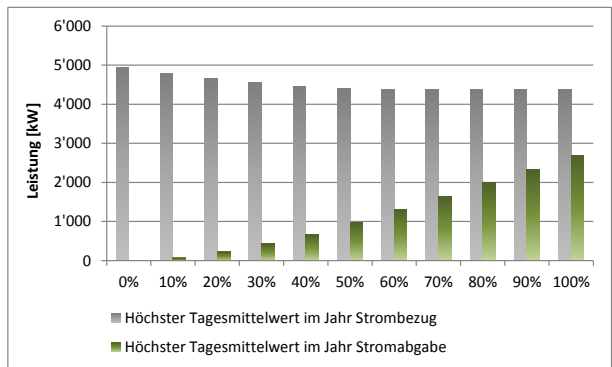
Dieses Szenario zeigt deutlich, dass sich Leistung und Energie sehr unterschiedlich verhalten. Der Einsatz von Wärmepumpen verursacht eine Spitze von +53% bei nur +7% zusätzlichem Energiebezug. Die Bezugsspitze kann durch die dezentrale Stromproduktion nicht reduziert werden, da Verbrauch und Produktion nicht gleichzeitig erfolgen (Winter / Sommer).

Der höchste Tagesmittelwert des Netzbezuges und der Netzabgabe wurde für die graduelle Belegung (von 0% auf 100%) von PV auf den Dachflächen für das Quartier und die Teilquartieren ermittelt und in den folgenden Abbildungen dargestellt.

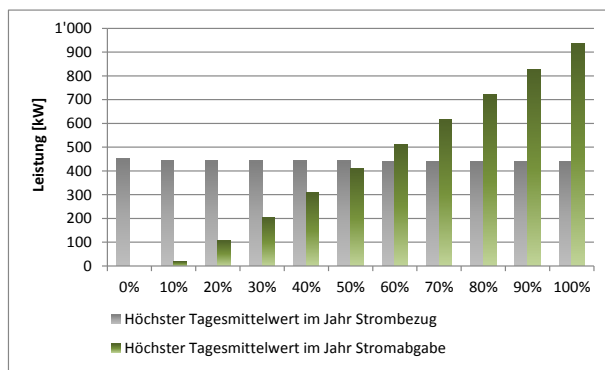
Quartier „Cham Ost“ (100% PV = 127'747 m²)



Allmend (100% PV = 92'293 m²)



Mugeren (100% PV = 31'802 m²)



Alpenblick (100% PV = 3'652 m²)

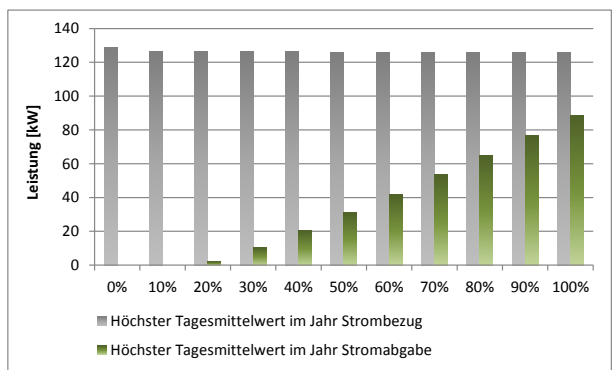


Abbildung 65: Einfluss der installierten PV-Fläche auf den höchsten Tagesmittelwert im Jahr im Quartier „Cham Ost“ und in den Teilquartieren.

Die höchsten Tagesmittelwerte auf Seite des Bezugs können mit erhöhter Belegung von PV-Flächen nicht beliebig reduziert werden. Ab rund 30% Dachbelegung kann keine weitere Reduktion der maximalen Netzbelastung (Netzbezug) im Quartier „Cham Ost“ erreicht werden (1). Grund dafür ist, dass der Autarkiegrad trotz steigendem Anteil an Stromproduktion durch die fehlende Gleichzeitigkeit zwischen Produktion und Verbrauch nicht beliebig erhöht werden kann.

Die Leistung der Netzabgabe für das Quartier „Cham Ost“ bleibt auch bei 100% PV kleiner als die des Netzbezugs (2). Das bedeutet, dass kein Ausbau der Infrastrukturleitungen nötig wird.

Während im Teilquartier Allmend (Nicht-Wohnbauten) die höchste mittlere Tageslast der Stromabgabe nie diejenige des Bezugs übersteigt, ist die Situation in Mugeren (EFH und MFH) im Vergleich kritischer. Im Wohnquartier Mugeren übersteigt die höchste mittlere Tageslast des Strombezugs diejenige der Stromabgabe im Jahr bereits bei leicht über 50% Belegung der Dachfläche. Im Teilgebiet Alpenblick können dank den Hochhäusern (hohe EBF pro Dachfläche) die Strompeaks durch die PV-Produktion trotz Wohnnutzung entschärft werden. Diese Feststellung zeigt, dass eine Aufstockung bzw. Verdichtung im Teilquartier den Eigenverbrauchsanteil der PV-Produktion erhöht und generell die Stromnetzbelastung an der Quartiergrenze reduziert.



Der Eigenverbrauchsanteil beschreibt den Anteil selbstverbrauchter, elektrischer Energie im Verhältnis zur produzierten, elektrischen Energie und wurde für das Quartier und für die Teilquartiere (siehe Tabelle 13) mit folgender Formel berechnet.

$$\text{Eigenverbrauchsanteil} = \frac{(\text{Stromproduktion} - \text{Stromnetzabgabe})}{\text{Stromproduktion}}$$

Tabelle 13: Stromverbrauch und Stromproduktion in den verschiedenen Teilquartieren bei 40% Belegung aller Dachflächen mit PV-Anlagen, inkl. Eigenverbrauchsanteil.

	EBF	Stromverbrauch	Stromproduktion	Strombezug Netz		Stromabgabe Netz		Eigenverbrauchsanteil
	[m ²]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[kW]	[MWh/a]	[kW]	[%]
Allmend	293'842	24'228	3'887	20'927	4'463	585	670	85
Mugeren	110'565	2'759	1'505	1'962	442	707	308	53
Alpenblick	31'470	785	173	636	126	23	21	87
Total	435'877	27'772	5'565	23'525	4'823	1'315	924	76

Der Eigenverbrauchsanteil der Stromproduktion beträgt für das Gesamtquartier 76%, d.h. 24% des produzierten Stroms muss an der Quartiergrenze zu einer nächsthöheren Netzebene abgegeben werden. Die Teilquartiere mit dem höchsten Eigenverbrauchsanteil sind Allmend, mit dem relativ hohen spezifischen Stromverbrauch und Alpenblick, mit der tieferen Dachfläche pro Quadratmeter EBF. Im Wohngebiet Mugeren liegt der Eigenverbrauchsanteil der PV bei rund 53%, d.h. rund die Hälfte der Stromproduktion wird zurück ins Netz gespeist.

In den oben erwähnten Zahlen ist der Mehrwert des Quartiers deutlich zu erkennen. Während die EFH alleine in der Regel einen Eigenverbrauchsanteil zwischen 25% und 35%² erreichen, kann der Eigenverbrauchsanteil bei der erweiterten Betrachtung der Systemgrenze auf rund das Doppelte erhöht werden.

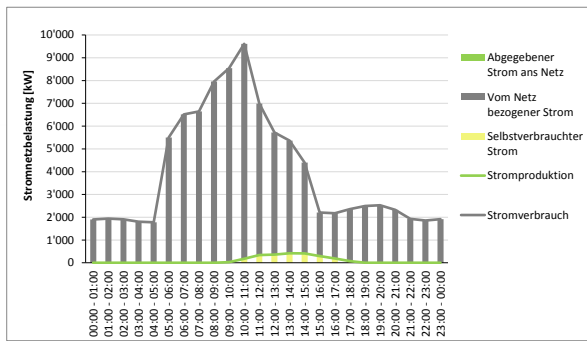
Tagesprofile Quartier „Cham Ost“ Ist (40% PV – Anteil)

Es werden beispielhaft vier Tagesprofile der Stromlasten im Quartier für die vier Jahreszeiten dargestellt (siehe Abbildung 66).

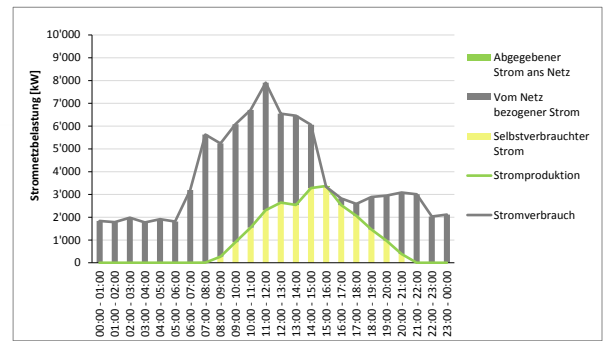
An einem sonnigen Tag im August mit wenig Stromverbrauch müsste die überschüssige Stromproduktion auf die Mittelspannungsebene rückgespeist werden, sofern diese nicht temporär innerhalb eines Tages gespeichert werden kann.

² Annahme: gleich viel Strom wird produziert wie verbraucht. Quelle: Skript CAS PV Bucher C., Basler & Hofmann, 2015

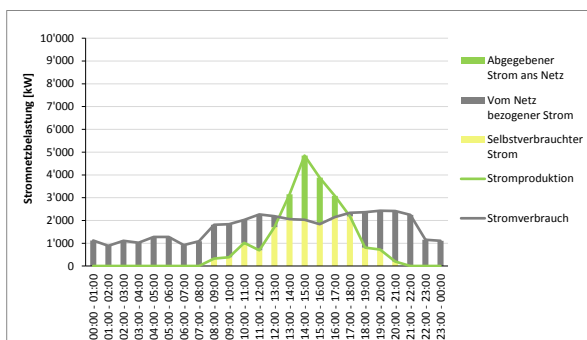
8. Februar (Winter)



8. Mai (Frühling)



8. August (Sommer)



8. November (Herbst)

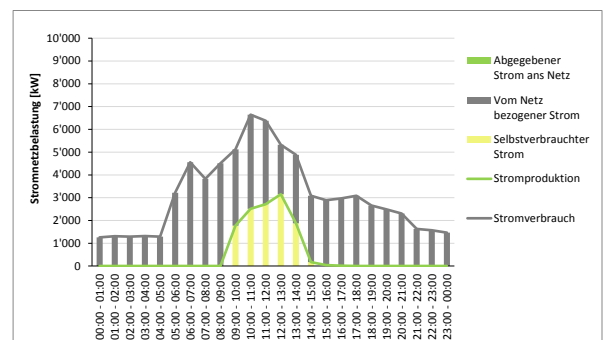
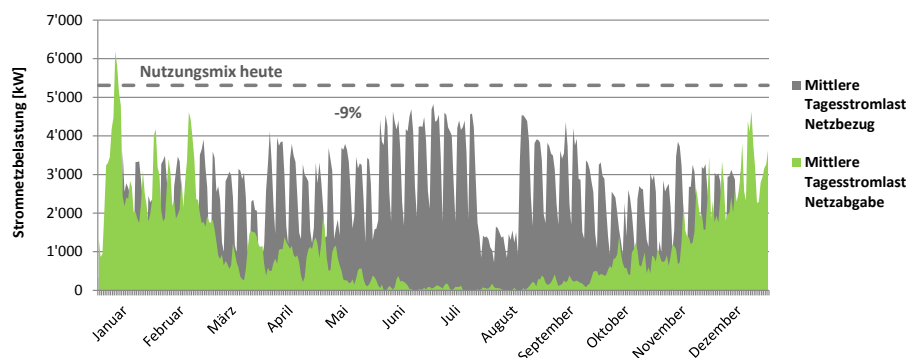


Abbildung 66: Tagesprofil für vier verschiedene Tage, jeweils ein Tag pro Saison im Quartier „Cham Ost“: Stromnetzbezug (grau), Stromnetzabgabe (grün) und Eigendeckung des produzierten Stroms (gelb).

Die Diskrepanz zwischen Allmend, Mugerer und Alpenblick lassen sich anhand der Abbildungen pro Teilgebiet im Anhang 15.10 erkennen. Im Teilquartier Allmend liegt der Stromverbrauch viel höher als in den Teilquartieren Mugerer und Allmend und daher kann dieses Teilquartier die PV-Produktion gut absorbieren.

Stand Heute – 100% WKK – 0% PV

Analog zum Szenario Erneuerung wurde der Einsatz von WKK im Quartier untersucht.



Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

4.8 MW

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

6.2 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

20.31/ 8.99 GWh

Abbildung 67: Elektrisches Lastprofil beim heutigen Stand der Gebäude, 100% Einsatz von WKK für die Heizung und 0% Flächenanteil der PV auf den Dächern.

Stand Heute – 100% WKK – 40% PV

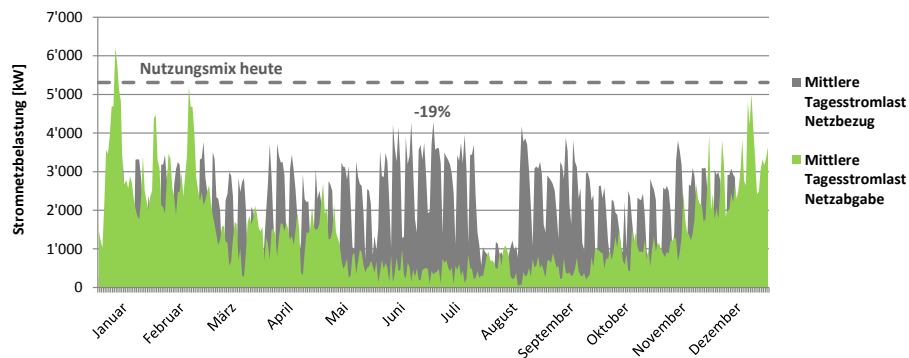


Abbildung 68: Elektrisches Lastprofil beim heutigen Stand der Gebäude, 100% Einsatz von WKK für die Heizung und 40% Flächenanteil der PV auf den Dächern.

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

4.3 MW

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzausgabe:

6.2 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

17.22 / 11.5 GWh

WKKs erzielen eine Reduktion von 9% der Strombezugslasten und eine Reduktion von 27% des Strombezugs an der Quartiergrenze. WKK reduzieren vor allem die maximalen Stromlasten im Winter.

WKK und PV (40% der Dachfläche im Quartier) bewirken eine Reduktion der Strombezugslasten um 19% und eine Reduktion des Strombezugs an der Quartiergrenze von 38%. Die PV-Anlagen reduzieren die Stromlasten im Sommer.

Der Peak an überschüssiger Stromproduktion übersteigt dieses Mal den Peak an Strombezug. Die Stromproduktion, falls lokal nicht verbraucht, ist für Quartiere mit Trafostationen problematisch. Falls die Trafostationen nicht in der Lage sind, die überschüssige Stromproduktion ins Netz zurück zu speisen, muss dieser Strom entweder umgewandelt oder gespeichert werden (Energy Hub).

Durch ein Lastmanagement kann das Potenzial allenfalls noch besser ausgeschöpft werden.

10.4.2 Rückspeisung ins Netz

Die bisherige Stromversorgung verlief in der Schweiz hauptsächlich unidirektional, von einem Grosserzeuger zu den einzelnen Verbrauchern; die Netzbelastung wurde einzig vom Verbrauch definiert. Durch den Zuwachs an dezentralen Stromproduktionseinheiten (PV, WKK, ...), wird immer mehr Strom, falls nicht lokal gespeichert, ins Netz zurückgespeist.

Regelbaren Ortsnetztransformatoren (RONTs) bieten eine Alternative zum Netzausbau an der Quartiergrenze. Diese sind auch als nachrüstbare Option in bestehenden Trafostationen einsetzbar und können Spannungsschwankungen von $\pm 10\%$ auf 2% genau regeln. Quelle (Arnold, 2013)

Die weitere Alternative für den Umgang mit überschüssigem Strom ist der Einsatz eines Speichers. Dieser Aspekt wird im nächsten Szenario untersucht.

10.5 Speicherung

Dieses Szenario untersucht im Vergleich zum vorherigen Szenario zusätzlich die Wirkung eines idealen thermischen oder elektrischen Tagesspeichers bei der dezentralen Energieproduktion. Wie bei allen untersuchten Szenarien wird der höchste Tagesmittelwert im Jahr ausgewertet.

10.5.1 Potenzial thermische Tagesspeicher

Grundsätzlich wird beim thermischen Speicher die aus der Kälteerzeugung entstandene Abwärme verlustfrei gespeichert und genutzt, um den Heizwärmebedarf zu einem anderen Zeitpunkt desselben Tages abzudecken (siehe Abbildung 69). Dadurch wird der Heizwärmebedarf an der Quartiergrenze reduziert. Die Kältelasten und der Kälteenergiebedarf bleiben an der Quartiergrenze unverändert. Um dieses Potenzial effizient zu nutzen, müssten Wohnbauten nahe an Abwärmequellen liegen oder über einen thermischen Verbund vernetzt werden.

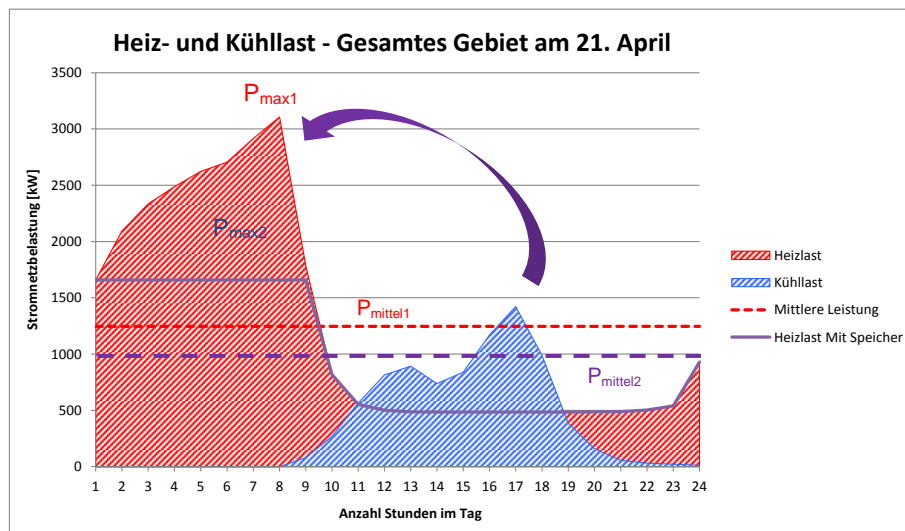
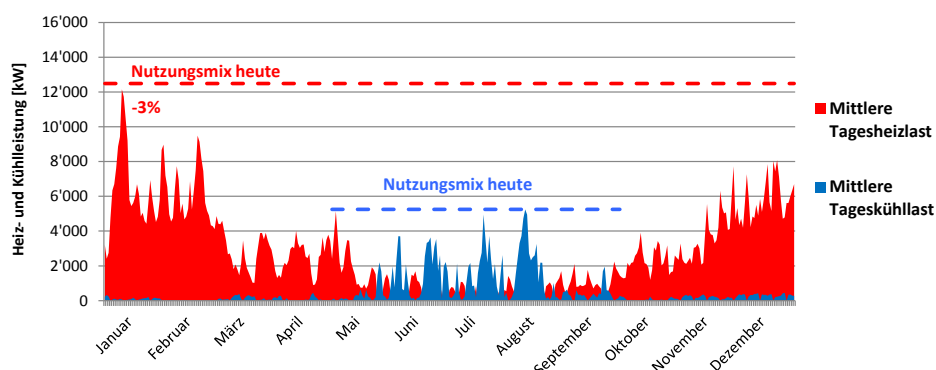


Abbildung 69: Prinzip des thermischen Tagesspeichers. Die Abwärme des Klimakältebedarfs wird am selben Tag verwendet um den Heizwärmebedarf abzudecken.

Die Nutzung der Abwärme reduziert die maximalen und entsprechend auch die mittleren Heizlasten an der Quartiergrenze. Letztendlich wird $P_{mittel2}$ für jeden Tag ermittelt und der höchste Wert im Jahr ist massgebend für die maximale Belastung an der Quartiergrenze.



Höchste mittlere
Tagesheizlast:

12.1 MW

Höchste mittlere
Tageskühllast:

5.2 MW

Heizwärme-/
Kühlbedarf:

24.4 / 3.5 GWh

Abbildung 70: Thermisches Lastprofil beim Einsatz eines idealen Tagesspeichers.

Die Resultate zeigen, dass die Heizlasten um 3% reduziert werden, während der Nutzenergiebedarf um 6% reduziert wird. Die Reduktion von 3% Heizlast erfolgt im Winter, dann wenn sich der Klimakältebedarf auf dem tiefstem Niveau befindet. Mit einem idealen Tagesspeicher können nur 40% der

gespeicherten Abwärme wieder verwertet werden, da Heiz- und Kühlbedarf nicht zeitgleich anfallen. Vor allem im Sommer wird Abwärme durch den Klimakältebedarf im Überschuss produziert.

10.5.2 Potenzial elektrische Tagesspeicher

Beim elektrischen Speicher wird die überschüssige Stromproduktion, d.h. Strom der nicht direkt und selbst im Quartier verbraucht wird, gespeichert. Er wird dann genutzt, um die Stromlasten zu einem späteren Zeitpunkt zu reduzieren. Es wurde angenommen, dass jeglicher Stromüberschuss an einem Tag von einem Speicher aufgenommen wird und verlustfrei wieder am selben Tag abgegeben wird.

Abbildung 71 veranschaulicht die unterschiedlichen Netzbelastungen an der Quartiergrenze (hier als ein Haus dargestellt) für die verschiedenen Szenarien: ohne PV/Speicher, mit PV/ohne Speicher und mit PV/mit Speicher.

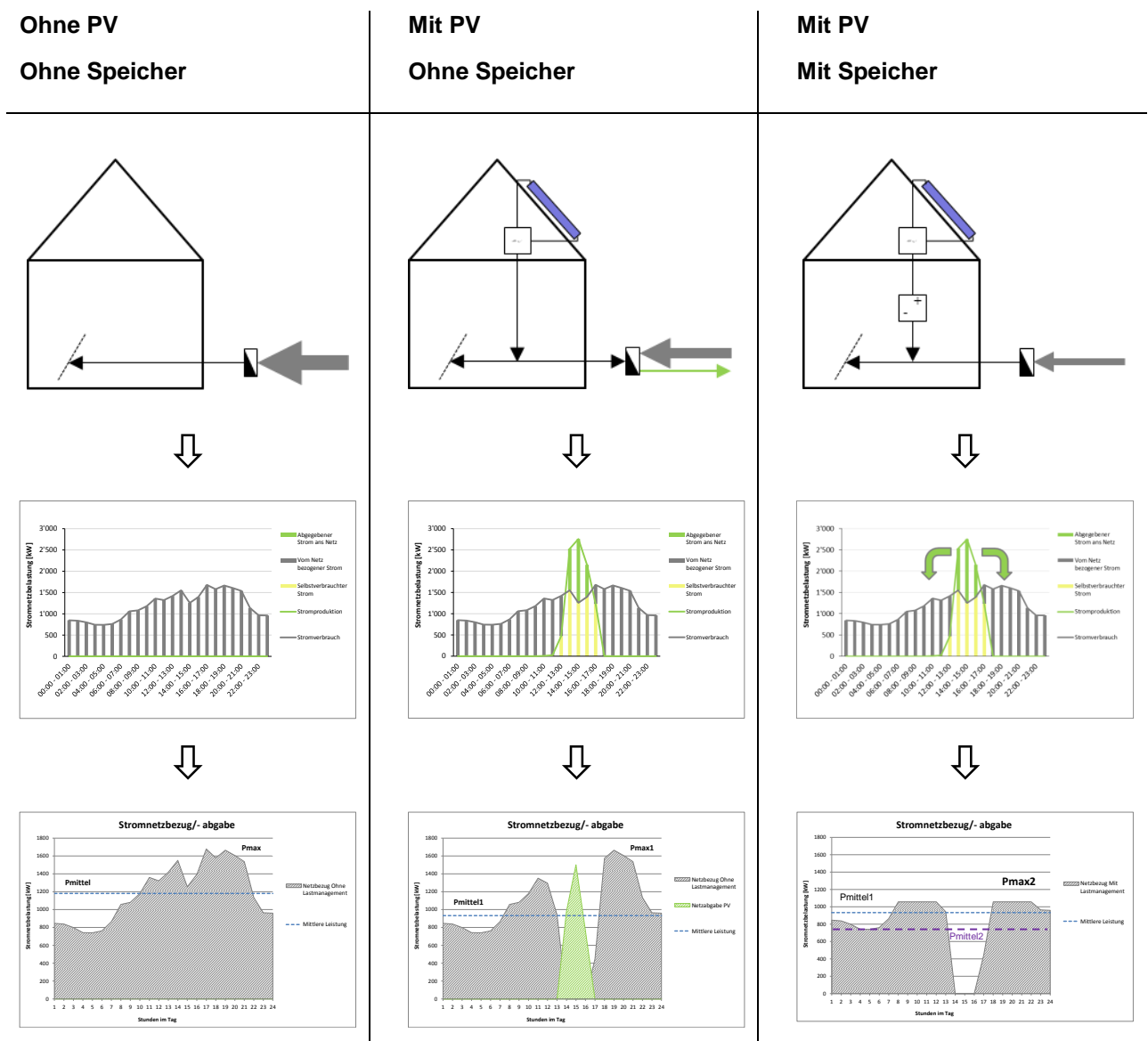


Abbildung 71: Netzbelastung an der Quartiergrenze für drei verschiedene Situationen: Ohne PV/ohne Speicher und mit PV/ohne Speicher und mit PV/mit Speicher für den 2. Januar dargestellt.

Ohne PV-Anlage ist ausschliesslich das Verbraucherprofil entscheidend für die Netzbelastung (links). Die Dächer des Areals werden jetzt mit 40% Fläche bedeckt und Strom wird dezentral produziert. Die Stromproduktion reduziert tagsüber die Bezugspeaks, erhöht aber gleichzeitig die Abgabepeaks (Mit-



te). Wenn die überschüssige Stromproduktion aus der PV-Anlage gespeichert wird und innerhalb des selben Tages genutzt wird, werden die Bezugsspeaks geglättet (rechts).

In diesem Szenario wird die dritte Spalte über P_{mittel2} beurteilt.

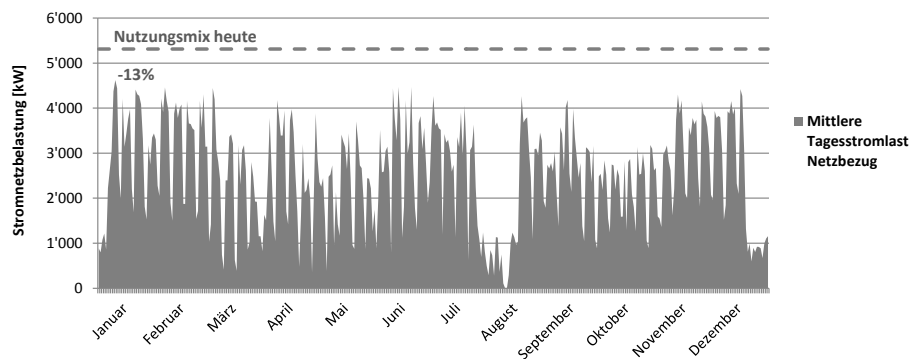


Abbildung 72: Elektrisches Lastprofil beim Einsatz eines idealen Tagesspeichers.

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzbezug:

4.6 MW

Höchste mittlere
Tagesstromlast
Netzabgabe:

0 MW

Netzbezug / Netz-
abgabe:

22.2 / 0 GWh

Die Resultate zeigen, dass der aufgenommene Strom durch den Speicher nur 1% der Bezugsenergie darstellt, d.h. durch den Speicher wird nur 1% weniger Strom (-20% mit Speicher gegenüber -19% ohne Speicher) vom Netz bezogen. Grund dafür ist die geringe Menge an zurückgespeicherter elektrischer Energie, die verwertet werden kann. Interessanter ist die Wirkung des Speichers auf die Strombezugslasten. Dank dem Speicher kann der höchste Tagesmittelwert des Strombezugs im Jahr von 9% auf 34% reduziert werden. Die Netzabgabelasten werden auf null reduziert, da vom Speicher aufgenommen.

10.5.3 Potenzial thermische Vernetzung

Die Eignung eines Gebiets für einen Wärmeverbund wird anhand der Wärmebedarfsdichte beurteilt (Jahreswärmebedarf/Zonenfläche). Es wird davon ausgegangen, dass sich ein Areal ab 350-400 MWh/ha für eine thermische Vernetzung eignet (Steiner, 2014).

Tabelle 14: Energiedichte in den Teilgebieten Mugeren, Alpenblick und Allmend. (Quelle Fläche: GIS Zug)

	Jahreswärmebedarf [MWh/a]	Zonenfläche [ha]	Wärmeenergiedichte [MWh/ha]
Mugeren	12'958	17.3	750
Alpenblick	9'961	4.4	2250
Allmend	2'886	29.2	100
Total	25'805	50.9	500

Die Teilgebiete, die sich am besten für eine thermische Vernetzung auf hohem Temperaturniveau eignen, sind Mugeren und Alpenblick, also die Wohnquartiere, da die Wärmeenergiedichte hoch ist. Gleichzeitig sollte für den wirtschaftlichen Betrieb die jährliche Wärmeliefermenge gemäss QM Holzheizwerke mindestens 1.5 MWh bis 2 MWh pro Trasse-meter Fernleitung betragen.

Für eine Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau sind andere technische und wirtschaftliche Kriterien relevant, nämlich das Verhältnis zwischen Wärmebedarf und Kältebedarf (Überlappung der Kälte- und



Heizprofile) und Schlüsselkunden, die die Amortisationszeiten der Investitionen reduzieren können. Das Gebiet, das sich am besten für eine thermische Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau eignet, ist das Gebiet Allmend, wo Abwärme aus den Nutzungen Büro, Verkauf und Gewerbe vorhanden ist. Das Areal verfügt mit Seewasser und Grundwasser über optimale Energiequellen für potenzielle thermische Vernetzungen auf tiefem Temperaturniveau.

11 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Abbildung 73 und Abbildung 74 werden die untersuchten Szenarien bezogen auf den höchsten Tagesmittelwert thermischer und elektrischer Leistung im Jahr verglichen. Es werden keine maximalen Stundenwerte betrachtet, da diese stark von der Regelstrategie der Gebäudetechnik abhängen.

Leistung thermisch

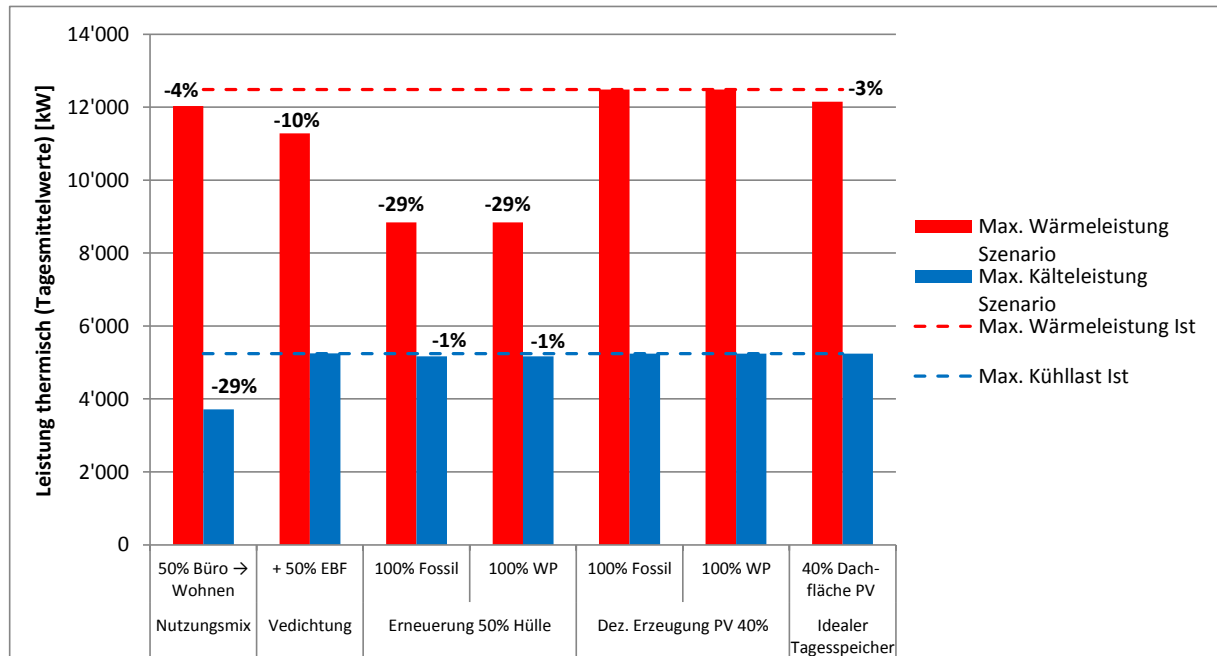


Abbildung 73: Höchster Tagesmittelwert der thermischen Lasten über ein Jahr für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zu den heutigen Lasten (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.

Leistung elektrisch

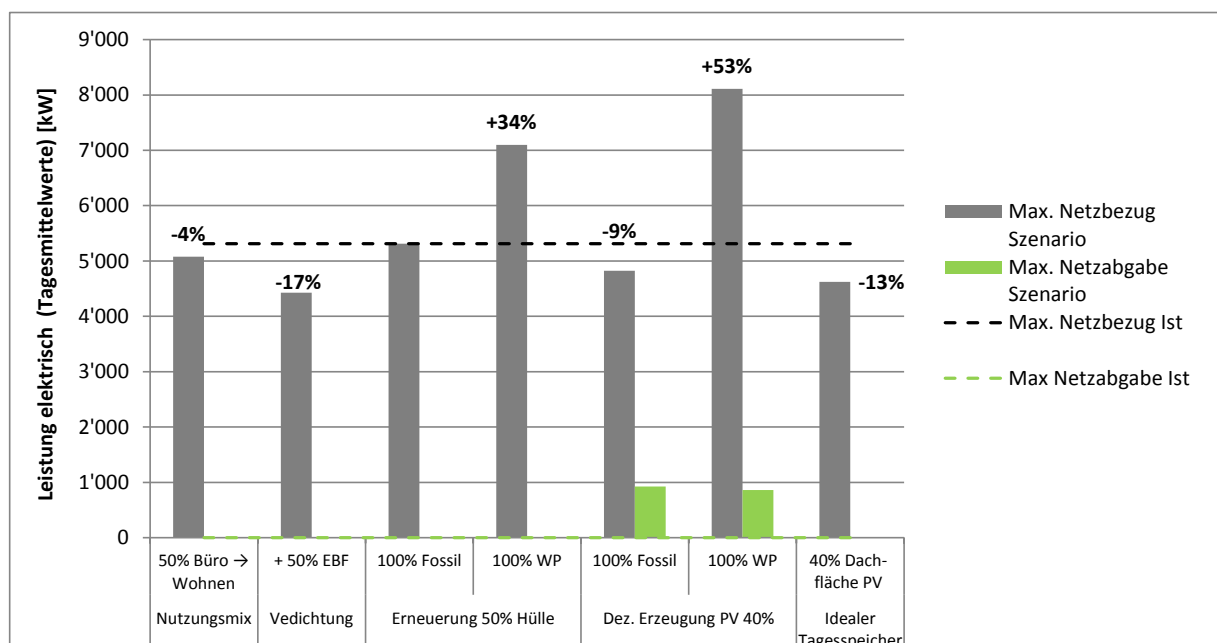


Abbildung 74: Höchster Tagesmittelwert der elektrischen Lasten übers Jahr für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zu den heutigen Lasten (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.

In Abbildung 75 und Abbildung 76 die untersuchten Szenarien bezüglich des Energiebedarfs verglichen. Der Energiebedarf thermisch und elektrisch ergibt sich aus der Summe der Stundenleistungen über das Jahr.

Energie thermisch

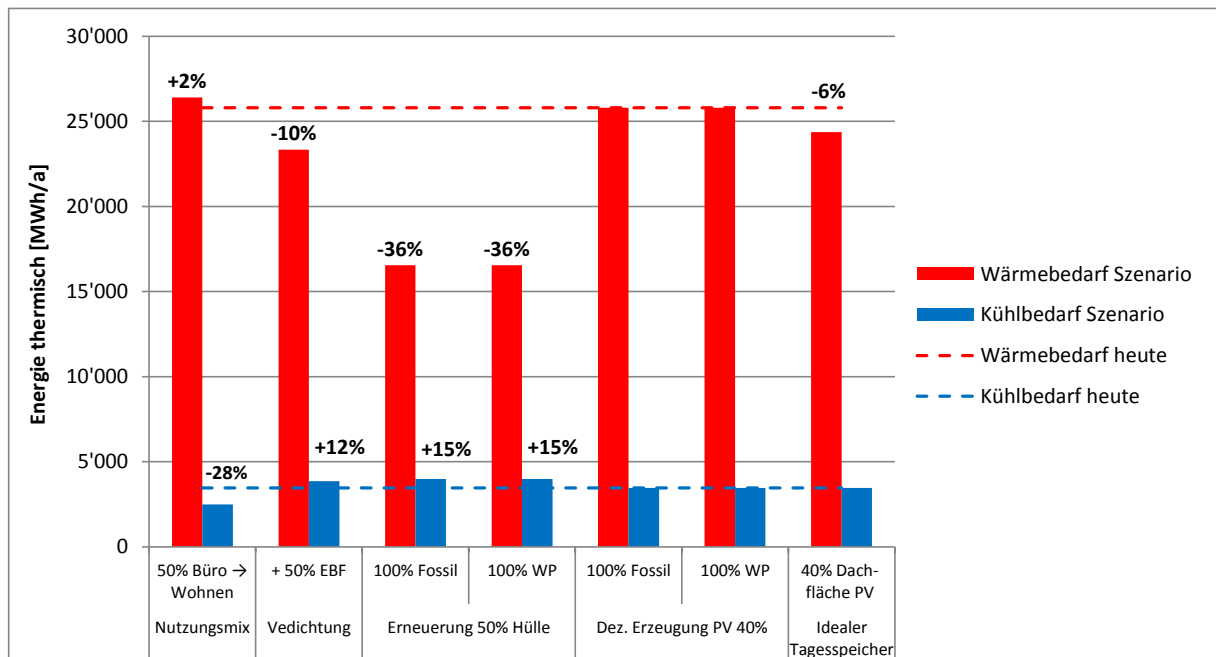


Abbildung 75: Heiz- und Kühlenergiebedarf des Quartiers „Cham Ost“ für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zum heutigen Heiz- und Kühlenergieverbrauch (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.

Energie elektrisch

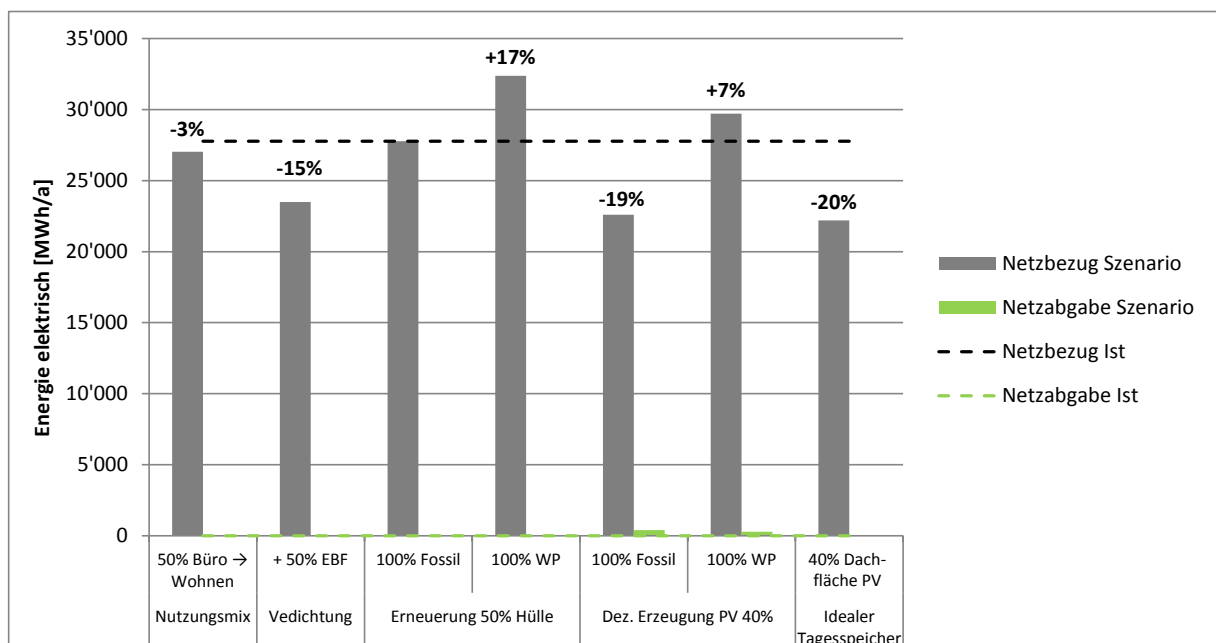


Abbildung 76: Stromverbrauch und Stromproduktion des Quartiers „Cham Ost“ für die untersuchten Szenarien (Balken) im Vergleich zum aktuellen Heiz- und Kühlenergieverbrauch (gestrichelte Linie). Alle Werte sind auf die gleiche EBF referenziert.



Resultate

Thermisch

- Die Substitution von 50% aller Flächen mit Nutzung Verwaltung durch Bauten der Nutzung Wohnen reduziert trotz erhöhtem Heizwärmebedarf die Heizlasten um 4%, da Wohnbauten mit höherer Speichermasse und anderem Lastgangverhalten in der Lage sind, die thermische Last übers Quartier betrachtet zu dämpfen.
- Dank der Verdichtung und folgend einer Verbesserung des mittleren energetischen Standards der Gebäude im Quartier wird eine Reduktion von 10% beim Leistungs- und beim Energiebedarf erzielt. Ein positiver Effekt ist auch bei der Kälte festzustellen: Obwohl der Kältebedarf um rund 12% höher liegt, bleibt die Leistungsspitze unverändert.
- Die grösste Leistungs- und Energiebedarfsreduktion liefert nicht überraschend das Szenario mit der Erneuerung von 50% der Gebäudehüllen des Bestands (Neubaustandard 2010). Die Leistungsspitzen werden dadurch um 29% reduziert, der Energiebedarf um 36%.
- Mit Hilfe eines idealen Tagesspeichers kann Abwärme aus der Kälteproduktion zu Heizzwecken wiederverwendet werden. Die Heizleistung wird dadurch um 3% reduziert und der Heizwärmebedarf um 6%. Nur rund 40% der anfallenden Abwärme werden mit dem Tagesspeicher genutzt, da die Abwärme nicht deckungsgleich mit dem Wärmebedarf (Raumheizung und Warmwasser) anfällt, vor allem im Sommer.

Elektrisch

- Die Änderung von 50% Büroflächen in Wohnbauten reduziert die Leistungsspitzen und den Energiebedarf an der Grenze des Quartiers nur marginal, da die Differenz der spezifischen Energieverbräuche zwischen Wohnnutzung und Büronutzung klein ist.
- Eine Verdichtung führt dank zusätzlichem Wohnanteil gegenüber Gewerbe zu einer Reduktion von 17% bei den Lasten und zu einer Reduktion von 15% beim Energiebedarf.
- Die Sanierung der Gebäudehüllen bewirkt nur beim gleichzeitigen Einsatz einer Wärmepumpe eine Änderung der Lasten und Energiebedarf. Die Leistungsspitzen steigen um 34%, der Strombedarf erhöht sich um 17%. Der grossflächige Einsatz von Wärmepumpen kann deshalb bezüglich Netzbelastung kritisch sein.
- Die Produktion von Strom mittels Photovoltaik erbringt (ohne Lastmanagement) höhere prozentuale Reduktion beim Stromverbrauch als bei den Leistungsspitzen. Grund dafür ist, dass der Eigenverbrauchsanteil im Quartier hoch ist, die Spitzen aber aufgrund zeitlicher Differenzen zwischen Produktion und Bezug nicht zusätzlich gedämpft werden können.
- Der ideale Tagesspeicher reduziert den Energiebedarf um lediglich 1%, bei der Lastspitze ist aber eine Reduktion um 13% möglich.

Weitere Erkenntnisse

- Um die Umbau-Richtwerte gemäss SIA-Effizienzpfad Energie für den Betrieb (Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgas-Emissionen) der Gebäude im Quartier zu erreichen, müssten 50% der Bestandesbauten auf Neubauniveau modernisiert und alle fossilen Wärmeerzeuger durch Wärmepumpen ersetzt werden (Abbildung 77).
- Die Erneuerung der Gebäudehülle bei 20% der Energiebezugsflächen hat die gleiche Wirkung auf die Primärenergiebilanz wie der Ersatz von 50% fossiler Wärmeerzeuger durch Wärmepumpensysteme. Hingegen reduziert der Ersatz der Wärmeerzeugung die Treibhausgase stärker als die Erneuerung der Gebäudehüllen (Abbildung 77).

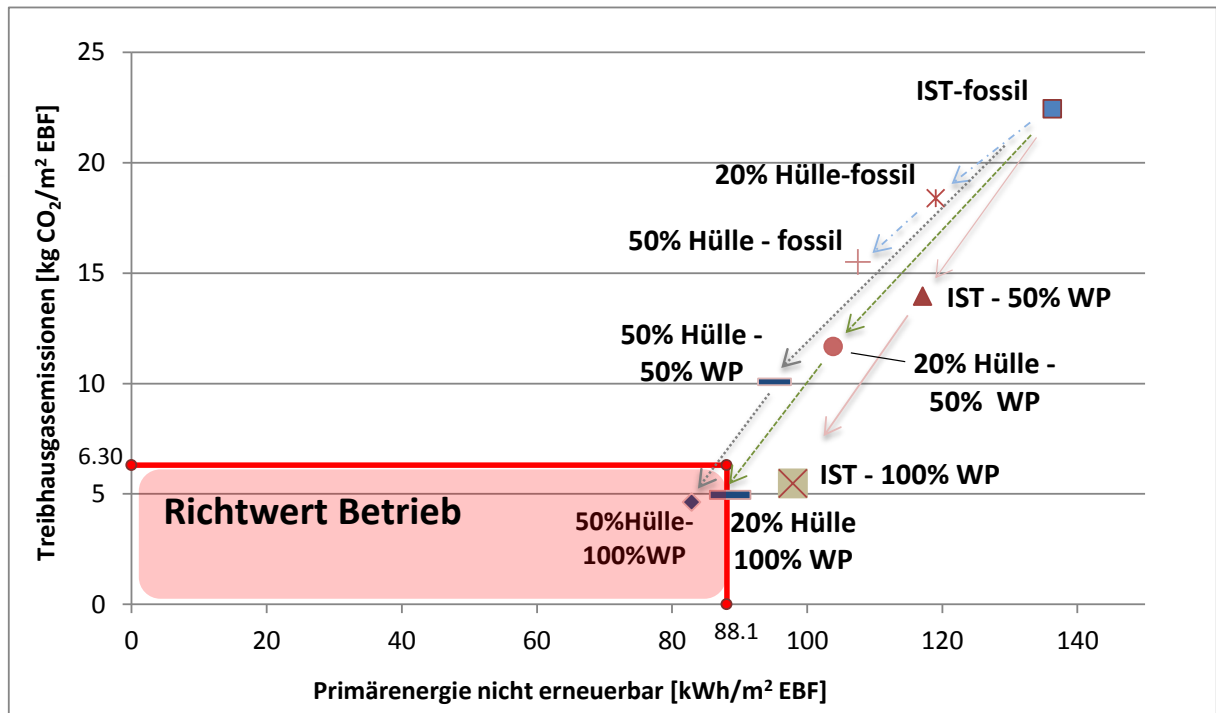


Abbildung 77: Darstellung der verschiedenen Varianten mit den Zielwerten gemäss SIA MB 2040

- Bei einer Belegung von bis zu 30% der vorhandenen Dachflächen mit Photovoltaikanlagen kann die maximale Netzbelastung auf der nächsthöheren Netzebene reduziert werden. Eine höhere Belegung bringt aber bei der Leistungsbetrachtung keine weitere Reduktion der Netzbelastung mehr (Abbildung 79).
- Wird „Cham Ost“ mit all seinen Teilquartieren Allmend, Alpenblick und Mugerer betrachtet, kann festgestellt werden, dass die maximale Netzabgabeleistung auch bei 100% Belegung der Dachflächen kleiner sein wird als die maximale Netzbezugsleistung. Der Ausbau der Photovoltaik führt hier also nicht zu einem erhöhten Kapazitätsbedarf bei den Verteilungen im Quartier (Abbildung 79).

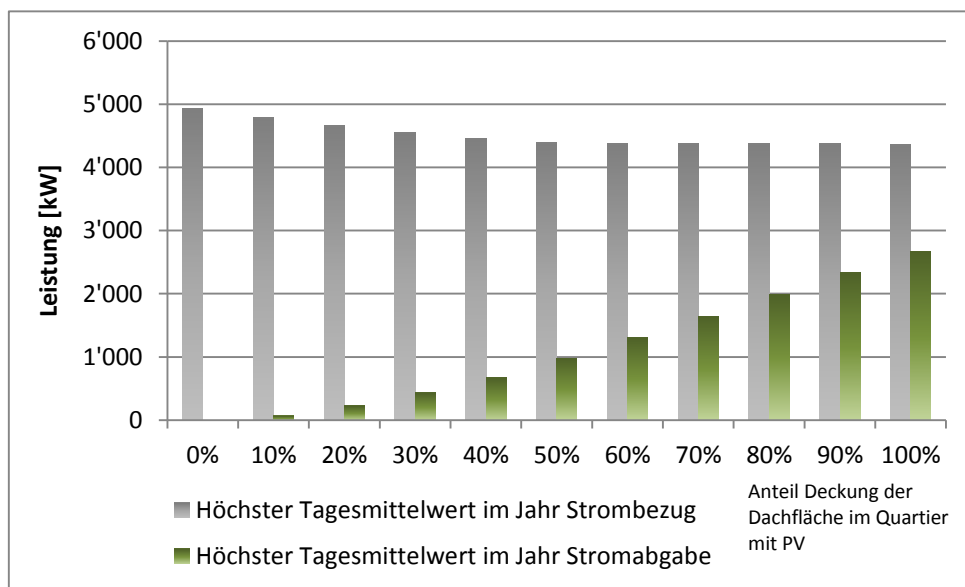


Abbildung 78: Einfluss des PV-Zubaus auf den höchsten Tagesmittelwert im Jahr im Quartier „Cham Ost“.

12 Massnahmenkatalog

12.1 Massnahmen am Einzelgebäude

Dämmung der Gebäudehülle in Abstimmung mit der Wärmeerzeugung

Die Erneuerung der Gebäudehülle bewirkt in vielen Situationen die grösste Reduktion des Energiebedarfs, auch bei einer Quartiersbetrachtung. Für eine möglichst grosse Reduktion der Treibhausgase kann sich jedoch der Ersatz einer fossilen Wärmeerzeugung durch eine Wärmepumpe als wirkungsvollste Lösung erweisen. Diese beiden Massnahmen sind bei Erneuerungen und Neubauten auf ein Optimum auszurichten.

Potentialabklärung für Fernwärmenetze und WKK-Anlagen

Wenn in einer Siedlung durch Erneuerungen der Heizwärmebedarf stark reduziert werden kann, bekommt der Energiebedarf für Warmwasser eine immer grössere Bedeutung. Durch diese Bandlast für die Warmwassererzeugung werden WKK interessant. Diese liefern primär Bandlast-Wärme und sekundär Strom, so dass nur noch wenig Spitzendeckung über ein anderes System für die Heizung nötig ist.

Bei einem Ersatz der Wärmeerzeugung ist – je nach Energiedichte – die Möglichkeit zu schaffen, einen späteren Anschluss an ein Fernwärmenetz zu realisieren. Dies gilt für direkte Fernwärme oder für ein Anergienetz.

Photovoltaikanlagen in Kombination mit Lastmanagement und Speichermöglichkeiten

Grundsätzlich macht es Sinn, auf Dächern Photovoltaikanlagen zu installieren, um dezentral Strom zu erzeugen. Dabei ist anzustreben, dass der am Gebäude produzierte Solarstrom möglichst im Gebäude selber resp. im Quartier genutzt werden kann und nicht ins Stromnetz gespeist werden muss. Bei der Planung einer Photovoltaikanlage ist die Situation im Quartier zu klären und die entsprechenden Massnahmen am Gebäude einzubeziehen. Dies können zum Beispiel ein elektrischer Speicher oder die Installation eines Lastmanagements respektive die Vorbereitung dafür sein.

12.2 Massnahmen im Quartier

Thermische Vernetzungsmöglichkeiten prüfen

Für eine thermische Vernetzung auf hohem Temperaturniveau ist ein möglichst konstanter Bedarf an Wärme (z.B. Warmwasser) und eine möglichst grosse Energiedichte massgebend.

Eine thermische Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau (Anergienetz) benötigt ausreichend lokale Abwärme (z.B. Kühlprozesse) und das Potential, ausreichend Wärmepumpensysteme als Wärmeerzeuger einsetzen zu können.

Für Quartiere sind diese beiden Möglichkeiten in einer Gesamtbetrachtung zu prüfen. Dabei ist die künftige Entwicklung des Quartiers bezüglich Nutzungen und Erneuerungen einzubeziehen.



Nutzungsmix

In der Quartierplanung nimmt die Thematik des Nutzungsmix' einen wichtigen Stellenwert ein. Bezüglich des Energiebedarfs hat ein hoher Nutzungsmix folgende Vorteile für die Energieversorgung:

- Unterschiedliche Nutzungen führen zu einem besseren Lastausgleich des Elektrizitätsbedarfs.
- Überschüssiger Solarstrom (v.a. bei Wohnbauten) kann direkt im Quartier genutzt werden.
- Eine Staffelung des Einschaltens der Wärmeerzeugung, wie zum Beispiel zuerst Wohnnutzungen und danach Büronutzungen, kann geprüft werden und evtl. zu wirtschaftlichen Lösungen führen.

12.3 Massnahmen am Einzelgebäude und im Quartier

Thermische Speicher als Komponente im Gesamtsystem

Für ein übergeordnetes Lastmanagement auf Quartierebene werden thermische Speicher in den Gebäuden gebraucht, sobald Wärmepumpen zum Einsatz kommen. Dies können technische Speicher für die Heizung, aktivierbare Gebäudemasse (TABS), Bodenheizungen oder Warmwasserboiler sein. Sind die Wärmepumpen drehzahl geregelt, so kann über eine Teilabsenkung der Leistung die Speicherentladung auf eine längere Zeitdauer verteilt werden.

Eine Massnahme auf Gebäudeebene ist die Installation von Wärmepumpen und die Schaffung von thermischer Speichermasse für den Lastausgleich im Quartier. Damit könnten übergeordnet Wärmepumpen zu- und weggeschaltet resp. deren Leistung reduziert werden, ohne dass dies den Komfort in den Gebäuden reduziert.

Elektrische Speicher für ein optimales Energiemanagement

Durch den Einsatz von elektrischen Speichersystemen auf Ebene Einzelgebäude kann der Eigenverbrauchsanteil stark erhöht werden. Daraus resultiert eine Senkung der Spitzen-Einspeisungen auf Ebene Quartier. Damit erhöht sich die Aufnahmefähigkeit der Netze für neue dezentrale elektrische Erzeuger. Hollinger (Jan 2013) schreibt zukunftsweisend in seiner Studie: „[...] dieser Entlastungseffekt für den Stromnetzbetrieb wird dann wirksam und nachhaltig sein, wenn die konventionelle Batteriebetriebsführung (lokal) schrittweise in ein intelligentes Energiemanagement überführt wird, welche lokale Betreiberinteressen mit systemischen Anforderungen aus dem Stromnetzbetrieb oder der globalen Vermittlung fluktuierender Erzeugung und Lasten kombiniert.“ Aus dem Zusammenschluss vieler einzelner Batterien wird durch das Lastmanagement eine netzstabilisierende Gross-Batterie.

13 Fazit

Nutzungen in einem Quartier werden im Richtplan der Kantone und im Bauzonenplan der Gemeinden definiert. Nach der industriellen Revolution wurden Wohnzonen und Industrie-/Gewerbezone aus Umweltbelastungsgründen strikt unterteilt. Die strikte (raumplanerische) Trennung von Wohnen und Verwaltung/Büro ist heutzutage aus Gründen der Energieeffizienz nicht mehr sinnvoll. Die Durchmischung der Nutzungen im selben Quartier bringt folgende Vorteile:

- Thermisch kann Abwärme aus den Verwaltungsgebäuden genutzt werden, um den Wärmebedarf an Heizung und Warmwasser von Wohneinheiten abzudecken.
- Elektrisch können die Strompeaks, Morgen- und Abendpeaks im Wohnen und Tagespeaks in Bürobauten, auf gleicher Netzebene ausgeglichen werden, da sie gestaffelt auftreten.
- Der Eigenverbrauchsanteil dezentral produzierter Elektrizität durch Mischnutzungen wird gegenüber Quartieren mit reiner Wohnnutzung markant erhöht.

Eine Reduktion und ein Ausgleich der Lasten kann aber nicht ausschliesslich über raumplanerische Massnahmen erzielt werden, sondern bedingt weiterhin auch die Sanierung der Einzelgebäude. Damit können gute Voraussetzungen für thermische Vernetzung auf tiefem Temperaturniveau geschaffen werden.

Da in Zukunft dezentrale Stromerzeugung unabdingbar sein wird, werden Speicher zum Einsatz kommen, die vor allem die Rückspeisung auf der nächsthöheren Ebene reduzieren sollen. Entscheidend wird deshalb, dass das Quartier über einen hohen Eigenverbrauchsanteil die Lasten gut absorbieren kann.

Zwei spezifische Szenarien (Nutzungsmix und Verdichtung) zeigen den Mehrwert einer Quartiersbetrachtung auf. Eine weitere, gezielte Aggregation der Teilergebnisse bezogen auf das Thema Mehrwert der Vernetzung war im Rahmen des Projektes nicht möglich.

14 Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit mussten einige Vereinfachungen vorgenommen werden (Einzelprofile statt Gesamtquartier). Deshalb sind die absoluten Werte mit Vorsicht zu verwenden, während die Unterschiede zwischen den Szenarien in ihrer Tendenz hohe Relevanz besitzen, da immer dieselbe Methodik angewendet wurde und es sich um relative Vergleiche handelt. Die Ergebnisse der relativen Unterschiede zwischen den Szenarien kann daher gut auf weitere typologisch-ähnliche Quartiere der Schweiz übertragen werden. Für weitere Arbeiten wäre es aber von Vorteil, möglichst „real-time“ Verbrauchsdaten verwenden zu können, damit die effektiven Verbräuche in Echtzeit des Quartiers abgebildet werden.

In der Analyse der Szenarien wurden ausschliesslich raumplanerische und technische Interventionen untersucht. Interessant für weitere Studien wäre die Ergänzung der Analyse mit ökonomischen Aspekten, um zu beurteilen, welche Massnahme die grösste Wirkung pro Investition erzielt (Grenzkostenbetrachtung) und ob die Massnahmen über die Nutzungsdauer wirtschaftlich sind. Ebenso wichtig wäre die Ausweitung der energetischen Betrachtung auf die graue Energie für die Erstellung (und den Rückbau) mit dem Ziel, eine gesamtheitliche Primärenergie-Analyse miteinzubeziehen.

In diesem Projekt wurden die thermischen und elektrischen Netze separat betrachtet. In Zukunft wird das Zusammenspiel zwischen den Energieträgern vermutlich immer wichtiger, so dass das Quartier als „Energie Hub“ funktionieren kann. Ein „Energie Hub“ ist eine Schnittstelle (physikalisch oder konzeptuell), wo verschiedene Energieträger umgewandelt bzw. gespeichert werden können, mit dem Ziel, die Energieflüsse (vor allem Überschüsse) optimal zu bewirtschaften und die nächst höhere Netzebene zu entlasten.

Abbildung 79: Zusammenwirkung, Gewinnung, Umwandlung, Speicherung und Verteilung der verschiedenen Energieträgern bei einem Energy Hub. Quelle: keoto

Zukünftige Konzepte sollten entwickelt werden, welche auf Basis der vorhandenen Infrastruktur aufbauen, indem z.B. der Ausbau von PV und elektrischer Speicher aufgrund der Belastung einzelner Netzstränge festgelegt werden kann. Beispielsweise könnte ein Tool für den optimalen PV/Speicher



Ausbau im Quartier entwickelt werden, das dann als Entscheidungsgrundlage für den Ausbau neuer Infrastruktur (thermisch, elektrisch oder Gas) dient.

15 Anhang

15.1 Simulationsgrundlagen

Vom 1. Januar bis 31. Dezember. Als Jahr wird nach Referenzjahr DRY 1987 nach SIA 382/1 verwendet.

Standort

Land: Schweiz
Stadt: Cham
Breitengrad: 47 11' 11" N
Längengrad: 8 28' 19" E
Höhe über Meer: 433 m
Zeitzone: -1 h

Klimadaten

Als Klimadaten wurden die Daten nach SIA 2028 für den Standort Luzern eingesetzt.

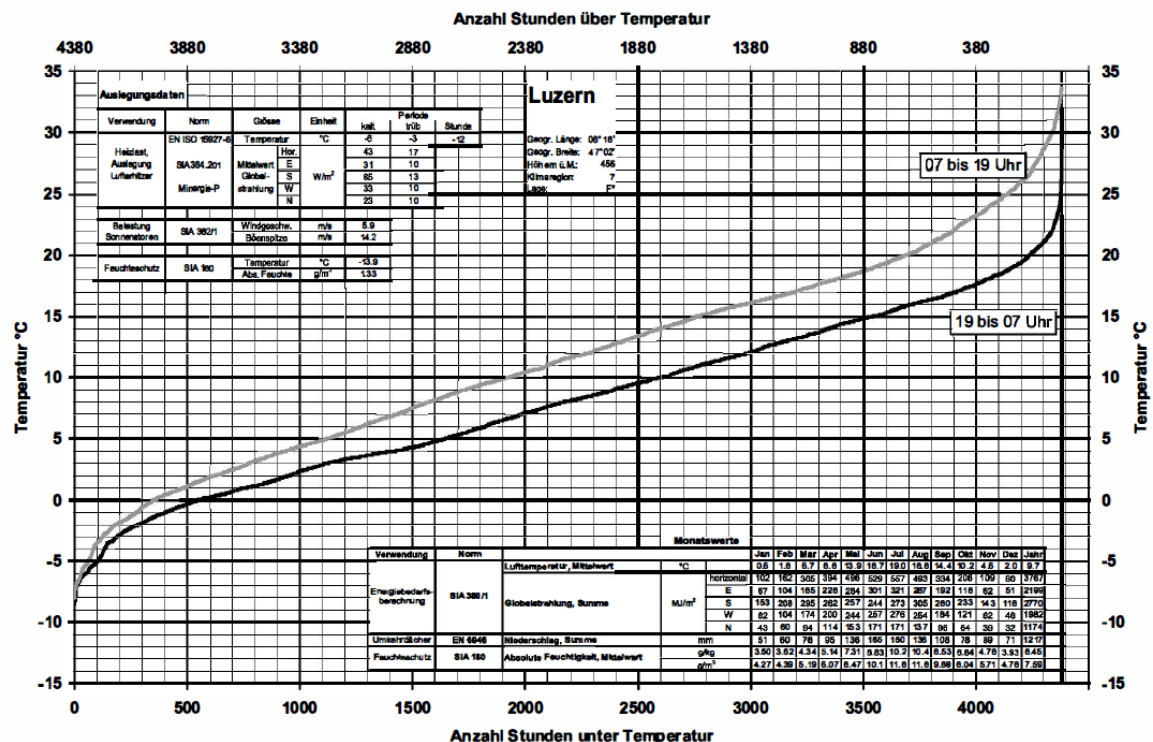


Abbildung 79: Klimadaten für den Standort Luzern, SIA 2028.

15.2 Gebäudekategorien

15.2.1 EFH

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Aussenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
EFH 1970	280	3	0.7	0.9	1	0.8	3.3	0.7	15
EFH 1970 (Fenster saniert)	280	3	0.7	0.9	1	0.8	1.5	0.6	15
EFH 1990	280	3	0.4	0.4	0.4	0.3	2.4	0.6	20
EFH 2010	280	3	0.2	0.2	0.25	0.25	1.3	0.5	25

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	
Wohnraum	218	0.02	9.4	2	Nach SIA 2024
Küche	20	0.2	17	40	Nach SIA 2024
WC	21	0	17.2	0	Nach SIA 2024
Verkehrsfläche	43	0	7	0	Nach SIA 2024
Nebenraum	45	0	6.3	0	Nach SIA 2024
Wasch- und Trockenraum	42	0.05	13.3	0	Nach SIA 2024

Spezielle Regelungen

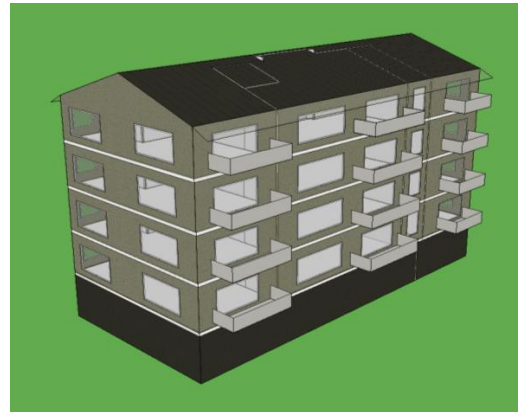
- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWV-Bedarf = 50 MJ/m² (SIA 380/1).
- Keine Kühlung. Keine mechanische Lüftung.
- Fensterlüftung (1 Fenster im Wohnraum 1.OG 3x pro Tag während 30 Minuten offen).
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes = 0.19.

15.2.2 MFH

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Aussenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
MFH 1970	1'100	4	0.7	0.9	1	0.8	3.3	0.7	25
MFH 1970 (Fenster saniert)	1'100	4	0.7	0.9	1	0.8	1.5	0.6	25
MFH 1990	1'100	4	0.4	0.4	0.4	0.3	2.4	0.6	30
MFH 2010	1'100	4	0.2	0.2	0.25	0.25	1.3	0.5	30

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	
Wohnraum	679	0.02	9.4	2	Nach SIA 2024
Küche	109	0.2	17	40	Nach SIA 2024
WC	62	0	17.2	0	Nach SIA 2024
Verkehrsfläche	215	0	7	0	Nach SIA 2024
Nebenraum	132	0	6.3	0	Nach SIA 2024
Wasch- und Trockenraum	82	0.05	13.3	0	Nach SIA 2024

Spezielle Regelungen

- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWB-Bedarf = 75 MJ/m² (SIA 380/1).
- Keine Kühlung. Keine mechanische Lüftung.
- Fensterlüftung (1 Fenster im Wohnraum 1.OG 3x pro Tag während 30 Minuten offen).
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes' = 0.19.

15.2.3 Hochhaus

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Außenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
Hochhaus 1970	3'000	10	0.7	0.9	1	0.8	3.3	0.7	20
Hochhaus 1970 (Fenster saniert)	3'000	10	0.7	0.9	1	0.8	1.5	0.6	20
Hochhaus 1990	3'000	10	0.4	0.4	0.4	0.3	2.4	0.6	25
Hochhaus 2000	3'000	10	0.2	0.2	0.25	0.25	1.3	0.5	30

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	
Wohnraum	1974	0.02	9.4	2	Nach SIA 2024
Küche	419	0.2	17	40	Nach SIA 2024
WC	273	0	17.2	0	Nach SIA 2024
Verkehrsfläche	341	0	7	0	Nach SIA 2024
Nebenraum	156	0	6.3	0	Nach SIA 2024
Wasch- und Trockenraum	55	0.05	13.3	0	Nach SIA 2024

Spezielle Regelungen

- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWW-Bedarf = 75 MJ/m² (SIA 380/1).
- Keine Kühlung. Keine mechanische Lüftung.
- Fensterlüftung (1 Fenster im Wohnraum 1.OG 3x pro Tag während 30 Minuten offen).

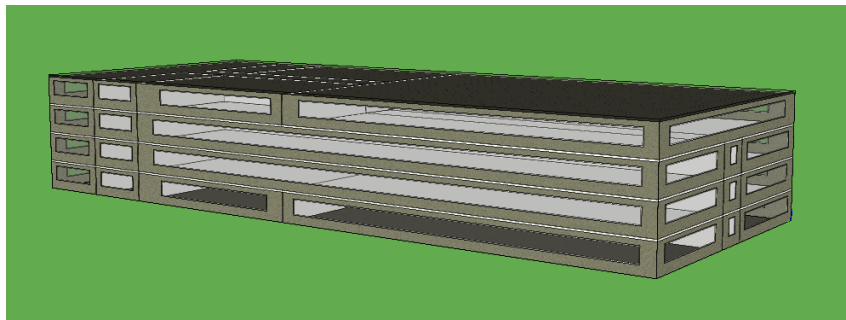
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutz' = 0.19.

15.2.4 Verwaltung (1990-2000)

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Außenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
Verwaltung (1990-2000)	9'000	4	0.3	0.4	0.32	0.28	2.4	0.6	40

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Zuluft/Abluft	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[L/s m ²]	
Einzelbüro	4203	0.07142	15.9	7 → 15	0.722	Nach SIA 2024. Wert erhöht.
Sitzungszimmer	531	0.33	15.9	2 → 15	3.33	Nach SIA 2024. Wert erhöht.
Küche/Restaurant	1197	0.2	15.9	200	22.22	Nach SIA 2024
Verkehrsfläche	1778	0	7	0	0.55	Nach SIA 2024
WC	701	0	17.2	0	2.222	Nach SIA 2024

Spezielle Regelungen

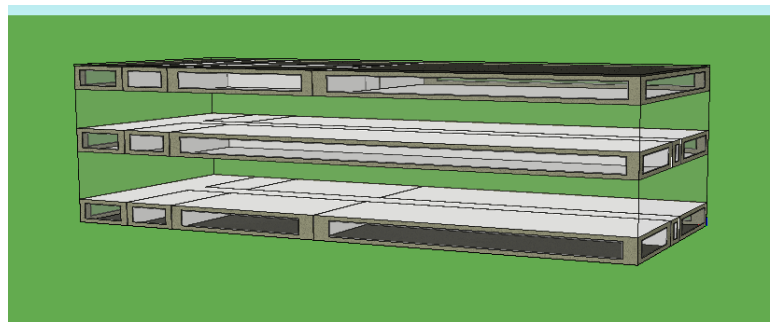
- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWW-Bedarf = 25 MJ/m² (SIA 380/1).
- Ideales Kühlelement. Einzelraumbüros werden ab 24°C statt 26°C schon gekühlt.
- Mechanische Lüftung. Fenster nie geöffnet.
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutz' = 0.14.

15.2.5 Verwaltung (ab 2000)

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Außenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
Verwaltung (ab 2000)	14'250	6	0.3	0.25	0.25	0.28	1.5	0.6	50

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Zuluft/Abluft	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[L/s m ²]	
Einzelbüro	7'870	0.07142	15.9	7 → 15	0.722	Nach SIA 2024. Wert erhöht.
Sitzungszimmer	531	0.33	15.9	2 → 15	3.33	Nach SIA 2024. Wert erhöht.
Küche/Restaurant	1'197	0.2	15.9	200	22.22	Nach SIA 2024
Verkehrsfläche	2'743	0	7	0	0.55	Nach SIA 2024
WC	1'051	0	17.2	0	2.222	Nach SIA 2024

Spezielle Regelungen

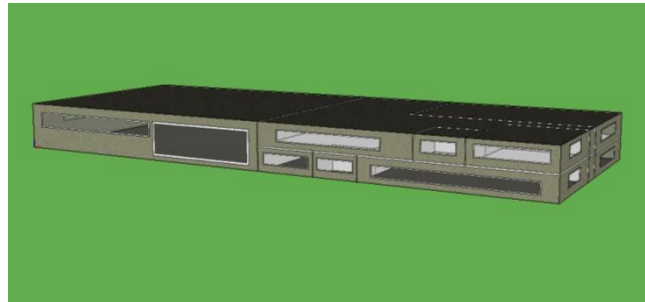
- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWB-Bedarf = 25 MJ/m² (SIA 380/1).
- Ideales Kühlelement. Einzelraumbüro wird ab 24°C statt 26°C gekühlt.
- Mechanische Lüftung. Fenster nie geöffnet.
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutz' = 0.14.
- Interne Lasten der Geräte im Büro und Sitzungszimmer wurden erhöht. Diese Werte entsprechen mehr der heutigen Realität.

15.2.6 Gewerbe

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Außenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
Gewerbe	4'400	2	0.3	0.4	0.32	0.28	2.4	0.6	30

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Zuluft/Abluft	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[L/s m ²]	
Einzelbüro	340	0.0714	15.9	7	0.722	Nach SIA 2024
Produktion grobe Arbeit	338	0.067	10.8	20	2.777	Nach SIA 2024
Produktion feine Arbeit	299	0.1	14.7	20	2.777	Nach SIA 2024
Lager	1'125	0.025	11.3	0	0.333	Nach SIA 2024
Sitzungszimmer	132	0.33	15.9	2	3.333	Nach SIA 2024
Verkehrsfläche	1'050	0	7	0	0.555	Nach SIA 2024
WC	68	0	17.2	0	2.222	Nach SIA 2024

Spezielle Regelungen

- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWW-Bedarf = 15 MJ/m² (Mittelwert zwischen Industrie und Lager nach SIA 380/1)
- Ideales Kühlelement. Einzelraumbüro, Sitzungszimmer und Produktionszonen werden ab 24°C statt 26°C schon gekühlt.
- Mechanische Lüftung. Fenster nie geöffnet.
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutz' = 0.14.

15.2.7 Verkauf

Physikalische Eigenschaften

Kategorie	EBF pro Gebäude	Anzahl Geschosse	U-Wert Dach	U-Wert Außenwand	U-Wert Kellerwand gegen Erdreich	U-Wert Kellerboden gegen Erdreich	U-Wert Fenster	g-Wert Fenster	Fensteranteil (an Fassade)
	[m ²]	[-]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[W/m ² a]	[-]	[%]
Verkauf	9'900	2	0.3	0.4	0.32	0.28	2.4	0.6	40

Gebäudemodell im IDA



Zoneneinteilung

Nutzung	Fläche	Personen	Beleuchtung	Geräte	Zuluft/Abluft	Fahrpläne
	[m ²]	[Personen/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[L/s m ²]	
Verkauf Möbel	1'560	0.2	9.3 → 50	2	0.555	Nach SIA 2024
Lebensmittelverkauf	3'164	0.3334	9.3 → 50	-10 → 10	2.777	Nach SIA 2024
Bau und Garten	1'560	0.2	9.3 → 50	2	0.555	Nach SIA 2024
Supermarkt Food / Non Food	3'164	0.3334	9.3 → 50	-5 → 5	2.777	Nach SIA 2024

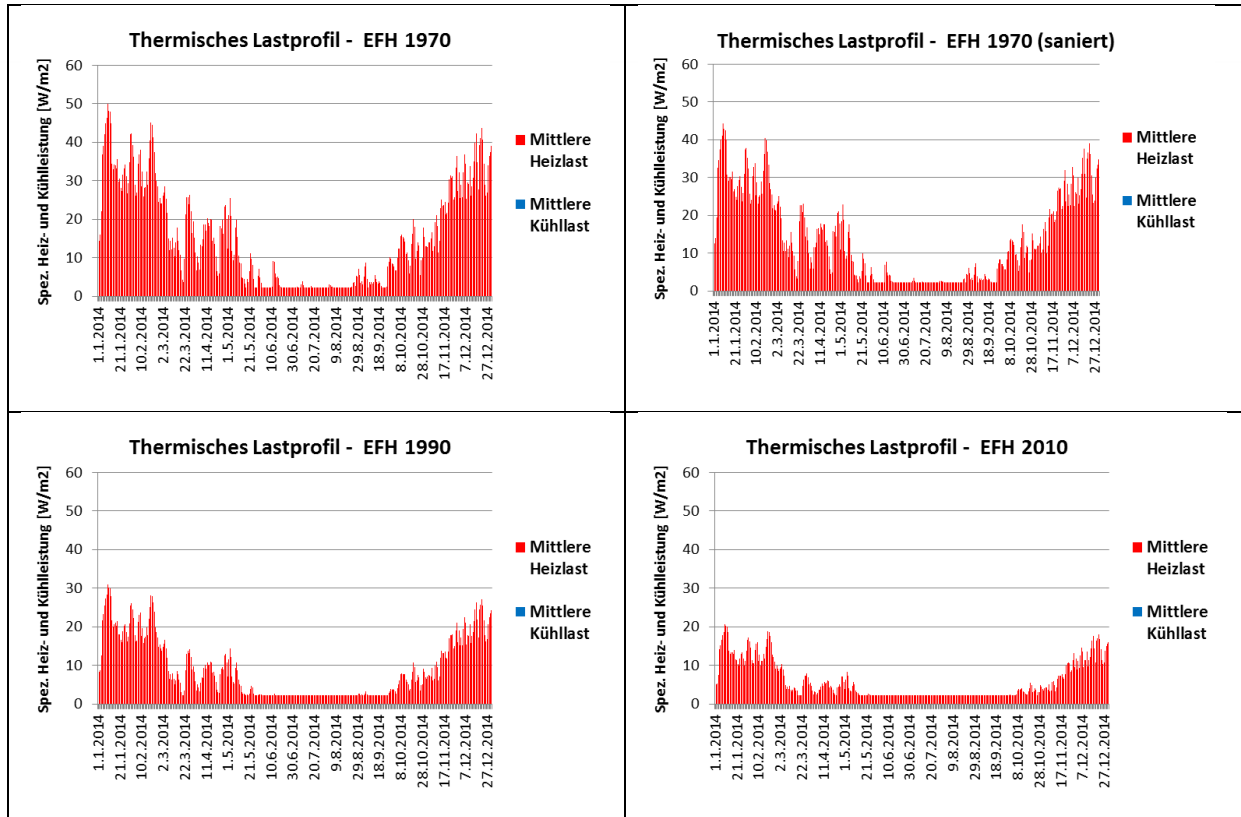
Spezielle Regelungen

- Ideales Heizelement ab 21°C Raumtemperatur. BWB-Bedarf = 25 MJ/m² (SIA 380/1)
- Ideales Kühlelement. Alle Zonen werden ab 23°C statt 26°C schon gekühlt.
- Mechanische Lüftung. Fenster nie geöffnet.
- Sonnenschutzregelung nach Sonneneinstrahlung, Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes = 0.14.
- Die internen Wärmelasten wurden erhöht. Die Leistung der Beleuchtung Akzentbeleuchtung (18 W/m²) wurde noch berücksichtigt und die Leistung an Realitätsnahen Werte angepasst. Die negativen Werte der Geräte im IDA besagen, dass die Kühlschränke den Raum abkühlen, d.h. die Wärmeabgabe aus den Kühlschränken vom Raum abgeführt werden kann. Falls die Abwärme der Kühlschränke im Raum bleibt, erhöhen sich die internen Wärmelasten. Deshalb wurden die negativen Werte geändert.

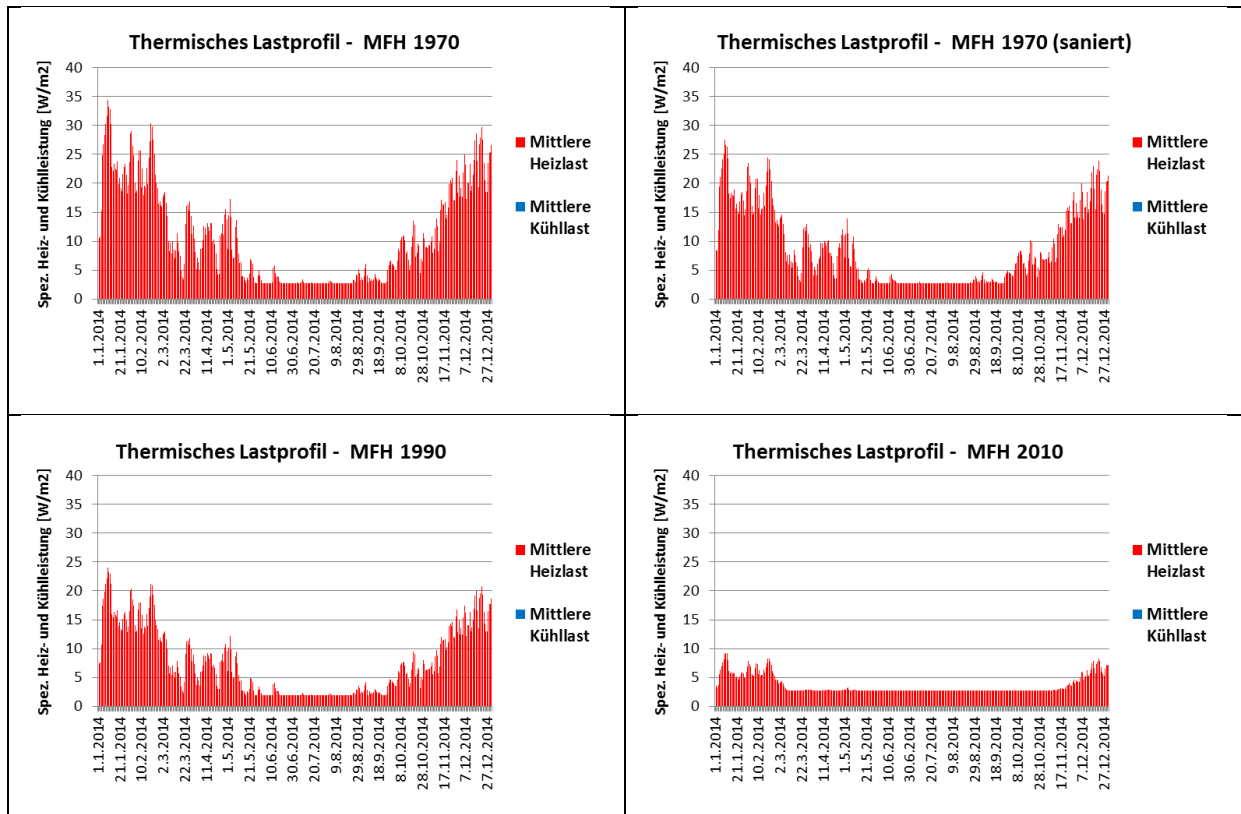


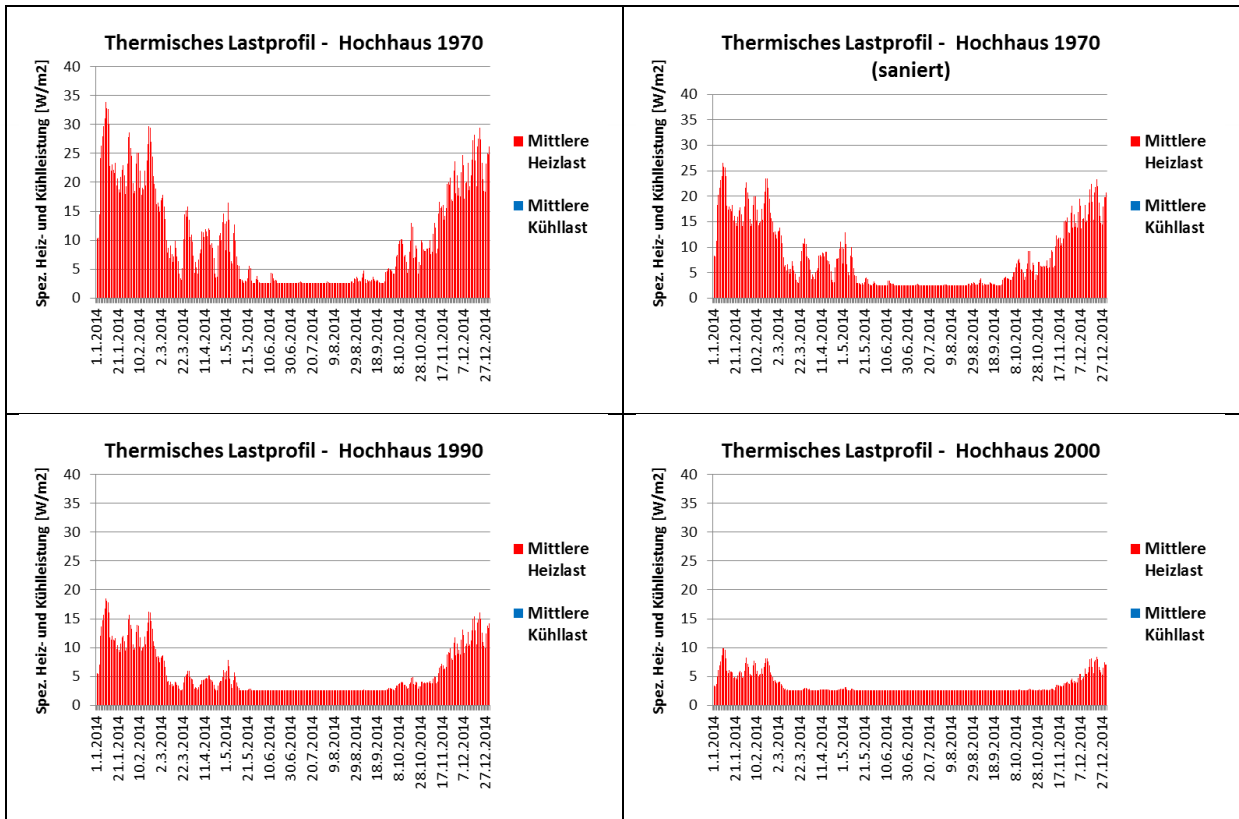
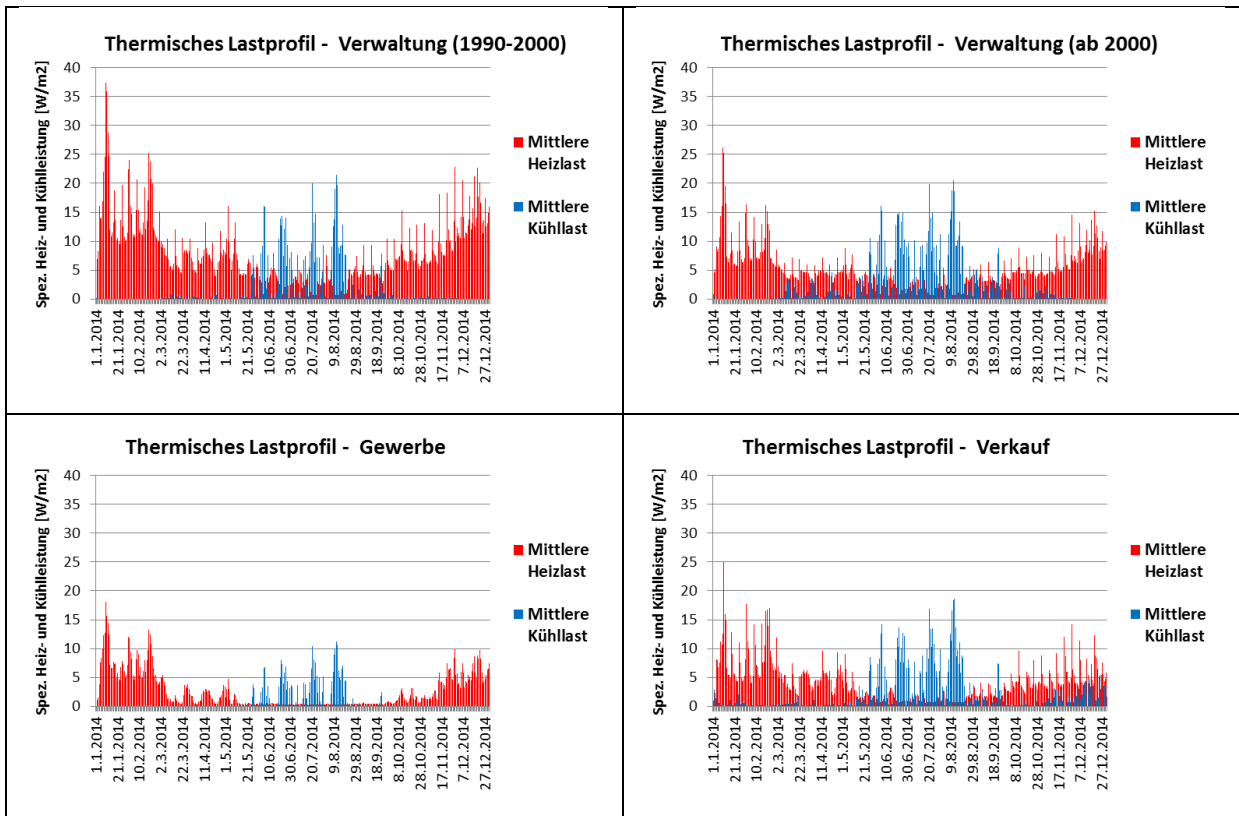
15.3 Thermische Lastprofile

EFH 1970, EFH 1970 (Fenster saniert), EFH 1990 und EFH 2010



MFH 1970, MFH 1970 (Fenster saniert), MFH 1990 und MFH 2010

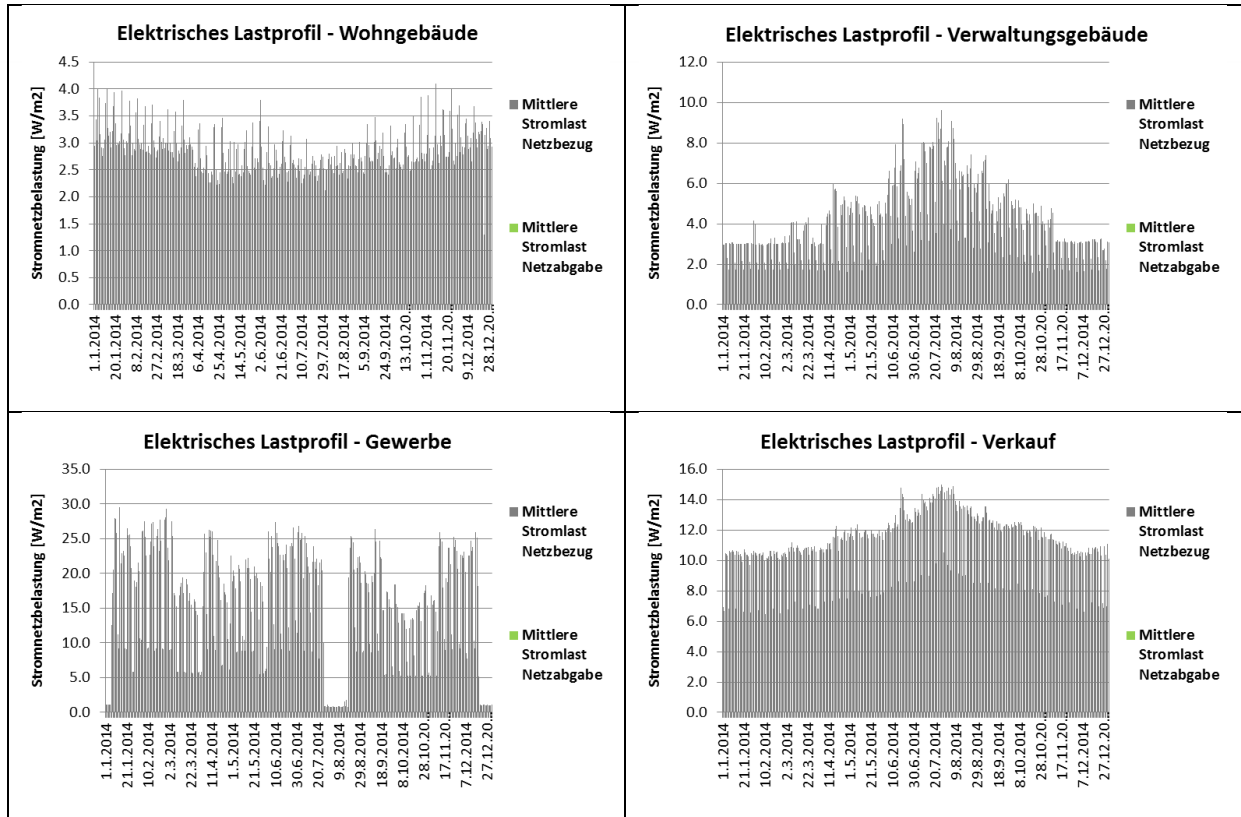


**Hochhaus 1970, Hochhaus 1970 (Fenster saniert), Hochhaus 1990 und Hochhaus 2000****Verwaltung (1990-2000), Verwaltung (ab 2000), Gewerbe und Verkauf**



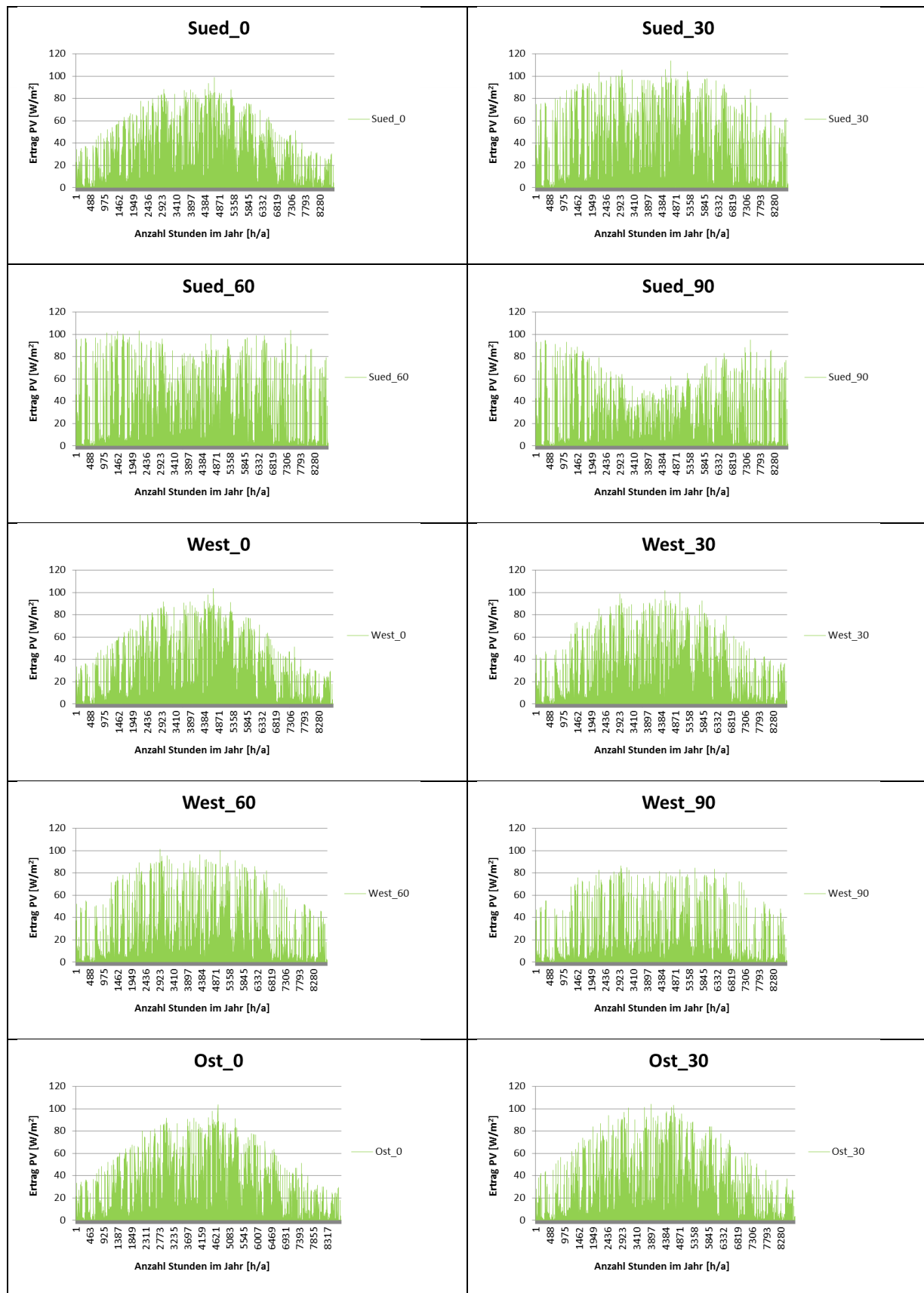
15.4 Elektrische Verbrauchsprofile

Alle Kategorien





15.5 Elektrische Produktionsprofile PV





15.6 Überblick Energieverbrauch und -produktion im Quartier „Cham Ost“.

Tabelle 15: Nutzungsmix des heutigen Zustandes auf dem Areal, thermischer und elektrischer Verbrauch pro Gebäudekategorie.

Kategorie	Anteil	EBF Total	Heizwärmebedarf	Klimakältebedarf	Stromverbrauch	Stromproduktion
		[m ²]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
EFH 1970	4%	17'435	2'383	0	435	0
EFH 1970 (Fenster saniert)	5%	22'422	2'705	0	560	0
EFH 1990	3%	10'953	874	0	273	0
EFH 2010	0%	0	0	0	0	0
MFH 1970	0%	0	0	0	0	0
MFH 1970 (Fenster saniert)	0%	0	0	0	0	0
MFH 1990	13%	58'530	3'960	0	1'461	0
MFH 2010	0%	1'225	39	0	31	0
Hochhaus 1970	7%	31'470	2'886	0	785	0
Hochhaus 1970 (Fenster saniert)	0%	0	0	0	0	0
Hochhaus 1990	0%	0	0	0	0	0
Hochhaus 2000	0%	0	0	0	0	0
Verwaltung (1990-2000)	23%	99'616	7'099	1353	3'518	0
Verwaltung (ab 2000)	10%	42'757	1'978	874	1'510	0
Gewerbe	30%	131'669	3'133	871	17'310	0
Verkauf	5%	19'800	748	354	1'890	0
Total	100%	435'877	25'805	3'453	27'773	0



15.7 Nutzungsmix

Nutzungsmix Änderung 20% bzw. 50% Büro in Wohnen.

Tabelle 16: Eingabeparameter für die Untersuchung der Änderung des Nutzungsmix' auf den Nutzenergiebedarf.

	Heute		20% Büro in Wohnen		50% Büro in Wohnen	
	[m ²]	Anteil	[m ²]	Anteil	[m ²]	Anteil
EFH 1970	17'435	4%	17'435	4%	17'435	4%
EFH 1970 (saniert)	22'422	5%	22'422	5%	22'422	5%
EFH 1990	10'953	2%	39'428	9%	82'140	19%
EFH 2010	0	0%	0	0%	0	0%
MFH 1970	0	0%	0	0%	0	0%
MFH 1970 (saniert)	0	0%	0	0%	0	0%
MFH 1990	58'530	13%	58'530	13%	58'530	13%
MFH 2010	1'225	0%	1'225	0%	1'225	0%
Hochhaus 1970	31'470	7%	31'470	7%	31'470	7%
Hochhaus 1970 (saniert)	0	0%	0	0%	0	0%
Hochhaus 1990	0	0%	0	0%	0	0%
Hochhaus 2000	0	0%	0	0%	0	0%
Verwaltung (1990-2000)	99'616	22%	71'141	16%	28'429	7%
Verwaltung (ab 2000)	42'757	9%	42'757	10%	42'757	10%
Gewerbe	131'669	30%	131'669	30%	131'669	30%
Verkauf	19'800	4%	19'800	5%	19'800	5%
EBF	435'877		435'877		435'877	
EBF zu heute	100%		100%		100%	



15.8 Verdichtung

Nutzungsmix Verdichtung um 20% und 50% in Wohnen, Verwaltung und Verkauf

Tabelle 17: Eingabeparameter für Untersuchung der Verdichtung auf den Nutzenergiebedarf.

	Heute		20% Verdichtung		50% Verdichtung	
	[m ²]	Anteil	[m ²]	Anteil	[m ²]	Anteil
EFH 1970	17'435	4%	17'435	3%	17'435	3%
EFH 1970 (saniert)	22'422	5%	22'422	4%	22'422	3%
EFH 1990	10'953	2%	10'953	2%	10'953	2%
EFH 2010	0	0%	14'227	3%	36'584	6%
MFH 1970	0	0%	0	0%	0	0%
MFH 1970 (saniert)	0	0%	0	0%	0	0%
MFH 1990	58'530	13%	58'530	11%	58'530	9%
MFH 2010	1'225	0%	17'956	3%	44'249	7%
Hochhaus 1970	31'470	7%	31'470	6%	31'470	5%
Hochhaus 1970 (saniert)	0	0%	0	0%	0	0%
Hochhaus 1990	0	0%	0	0%	0	0%
Hochhaus 2000	0	0%	8'811	2%	22'658	3%
Verwaltung (1990-2000)	99'616	22%	99'616	19%	99'616	15%
Verwaltung (ab 2000)	42'757	9%	82'621	16%	145'266	22%
Gewerbe	131'669	30%	131'669	25%	131'669	20%
Verkauf	19'800	4%	25'344	5%	34'056	5%
Total	435'877		521'055		654'907	
EBF zu heute	100%		120%		150%	



15.9 Effizienz (Erneuerung)

Nutzungsmix Erneuerung: 20% und 50% der EBF wird auf neuestem Standard erneuert

Tabelle 18: Veränderung des Nutzungsmix* durch energetische Modernisierung der Hülle bei Wohnen und Verwaltung

	Heute		20% Erneuerung		50% Erneuerung	
	[m²]	Anteil	[m²]	Anteil	[m²]	Anteil
EFH 1970	17'435	4.0%	0	0%	0	0%
EFH 1970 (saniert)	22'422	5.1%	0	0%	0	0%
EFH 1990	10'953	2.5%	0	0%	0	0%
EFH 2010	0	0.0%	50'811	12%	50'811	12%
MFH 1970	0	0.0%	0	0%	0	0%
MFH 1970 (Fenster saniert)	0	0.0%	0	0%	0	0%
MFH 1990	58'530	13.4%	58'530	13%	0	0%
MFH 2010	1'225	0.3%	1'225	0.3%	59'755	14%
Hochhaus 1970	31'470	7.2%	0	0%	0	0%
Hochhaus 1970 (Fenster saniert)	0	0.0%	0	0%	0	0%
Hochhaus 1990	0	0.0%	0	0%	0	0%
Hochhaus 2000	0	0.0%	31'470	7%	31'470	7%
Verwaltung (1990-2000)	99'616	22.9%	94'721	22%	22'488	5%
Verwaltung (2000-)	42'757	9.8%	47'652	11%	119'885	28%
Gewerbe	131'669	30.2%	131'669	30%	131'669	30%
Verkauf	19'800	4.5%	19'800	5%	19'800	5%
Total	435'877	100%	435'877	100%	435'877	100%

**Aufteilung WP 50% / Fossil 50%**

Tabelle 19: Aufteilung der Nutzungen auf die Wärmeerzeuger für die Variante Ist.

Fossil		Wärmebedarf (RH+BWW) [MWh/a]					
		Anteil	Heute	20% Erneuerung		50% Erneuerung	
Wärmepumpe							
EFH 1970	4%	2'382.7	0.0	0.0		0.0	
EFH 1970 (saniert)	5%	2'705.0	0.0	0.0		0.0	
EFH 1990	3%	873.6	0.0	0.0		0.0	
EFH 2010	0%	0.0	2'622.1	2'622.1		2'622.1	
MFH 1970	0%	0.0	0.0	0.0		0.0	
MFH 1970 (saniert)	0%	0.0	0.0	0.0		0.0	
MFH 1990	13%	3'960.3	3'960.3	0.0		0.0	
MFH 2010	0%	39.4	39.4	1'919.7		1'919.7	
Hochhaus 1970	7%	2'886.5	0.0	0.0		0.0	
Hochhaus 1970 (saniert)	0%	0.0	0.0	0.0		0.0	
Hochhaus 1990	0%	0.0	0.0	0.0		0.0	
Hochhaus 2000	0%	0.0	977.3	977.3		977.3	
Verwaltung (1990-2000)	23%	7'098.7	6'749.9	1'602.5		1'602.5	
Verwaltung (ab 2000)	10%	1'977.8	2'204.2	5'545.6		5'545.6	
Gewerbe	30%	3'133.5	3'133.5	3'133.5		3'133.5	
Verkauf	5%	747.5	747.5	747.5		747.5	
Total	100%	25'805	20'434.2	16'548		16'548	
Aufteilung Fossil / WP	100%	12'324	13'481	10'046	10'389	8'168	8'380



Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen

Für den Bestand heute wurden 12.5% EFH, 20% MFH und 67.5% Verwaltung berücksichtigt: Wie erwähnt wurden die Nutzungen Gewerbe, Verkauf und Verwaltung unter Verwaltung zusammengefasst.

Tabelle 20 Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgase Betrieb für alle Varianten

Primär- energie n.e.	heute			20% Hülle erneuert			50% Hülle erneuert			SIA MB 2040
[kWh/m ² a]	100% fossil	50% fossil / 50% WP	100% WP	100% fossil	50% fossil / 50% WP	100% WP	100% fossil	50% fossil / 50% WP	100% WP	Richtwert Umbau
Fossil RW+WW	83.23	41.61	0.00	65.91	32.95	0.00	53.37	26.69	0.00	
El. Energie WP RW+WW	0.00	22.42	44.84	0.00	17.75	35.51	0.00	14.38	28.76	
El. Energie Kälte (KM)	7.00	7.00	7.00	7.07	7.07	7.07	8.07	8.07	8.07	
El. Energie Betrieb (MB 2040)	46.07	46.07	46.07	46.07	46.07	46.07	46.07	46.07	46.07	88.1
THG	heute			20% Hülle erneuert			50% Hülle erneuert			SIA MB 2040
[t CO ₂ /a]	100% fossil	50% fossil / 50% WP	100% WP	100% fossil	50% fossil / 50% WP	100% WP	100% fossil	50% fossil / 50% WP	100% WP	Richtwert Umbau
Fossil RW+WW	19.47	9.74	0.00	15.42	7.71	0.00	12.49	6.24	0.00	
El. Energie WP RW+WW	0.00	1.25	2.51	0.00	0.99	1.99	0.00	0.80	1.61	
El. Energie Kälte (KM)	0.39	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.45	0.45	0.45	
El. Energie Betrieb (MB 2040)	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	2.58	6.3



15.10 Dezentrale Erzeugung

PV-Produktion

Tabelle 21: Fläche und Orientierung der PV-Anlagen pro Nutzung bei 40% Flächenbelegung.

Dezentrale Erzeugung	Fläche PV	Fläche PV Total	Orientierung PV
	[m ² /Gebäude]	[m ²]	
EFH 1970	33	2036	Sued_30
EFH 1970 (Fenster saniert)	33	2619	Sued_30
EFH 1990	33	1279	Sued_30
EFH 2010	0	0	Sued_30
MFH 1970	0	0	Sued_30
MFH 1970 (Fenster saniert)	0	0	Sued_30
MFH 1990	128	6836	Sued_30
MFH 2010	128	143	Sued_30
Hochhaus 1970	350	3676	Sued_30
Hochhaus 1970 (Fenster saniert)	0	0	Sued_30
Hochhaus 1990	0	0	Sued_30
Hochhaus 2000	0	0	Sued_30
Verwaltung (1990-2000)	1051	11635	Sued_30
Verwaltung (ab 2000)	1577	4994	West_30
Gewerbe	526	15379	Ost_30
Verkauf	1110	2313	Sued_30
Total		50'911	



Jahres-elektrisches Lastprofil (40% PV-Anteil)

Allmend

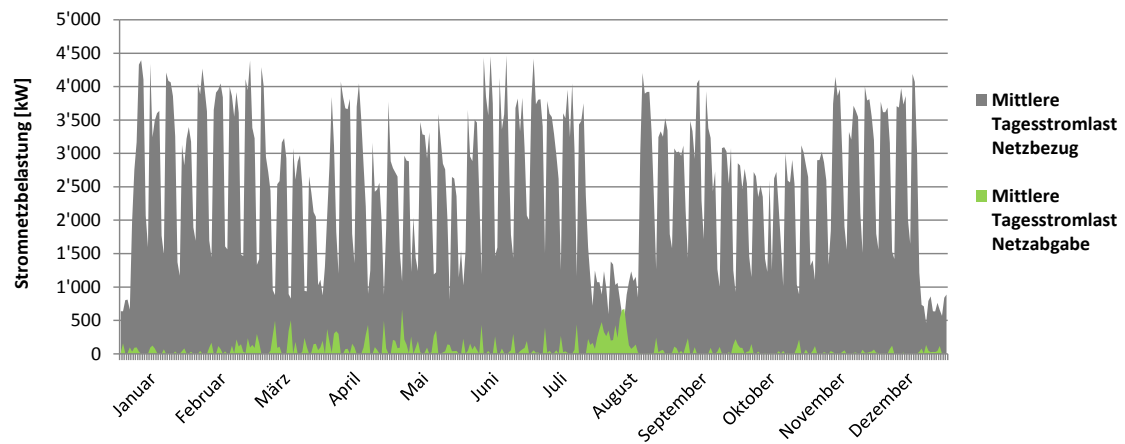


Abbildung 80: Stromnetzbezug (grau) und Stromnetzabgabe (grün) im Teilquartier Allmend bei 40% Deckung der PV-Fläche.

Alpenblick

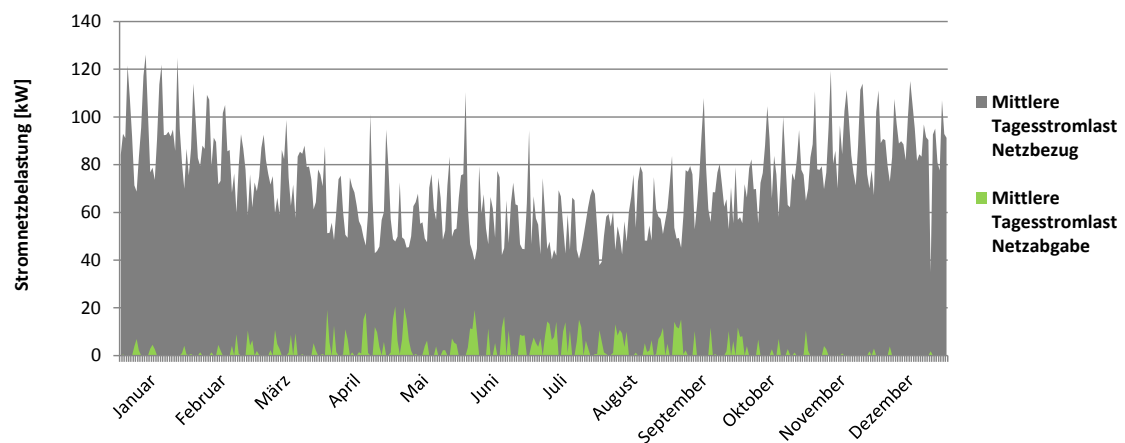


Abbildung 81: Stromnetzbezug (grau) und Stromnetzabgabe (grün) im Teilquartier Alpenblick bei 40% der PV-Fläche.

Mugeren

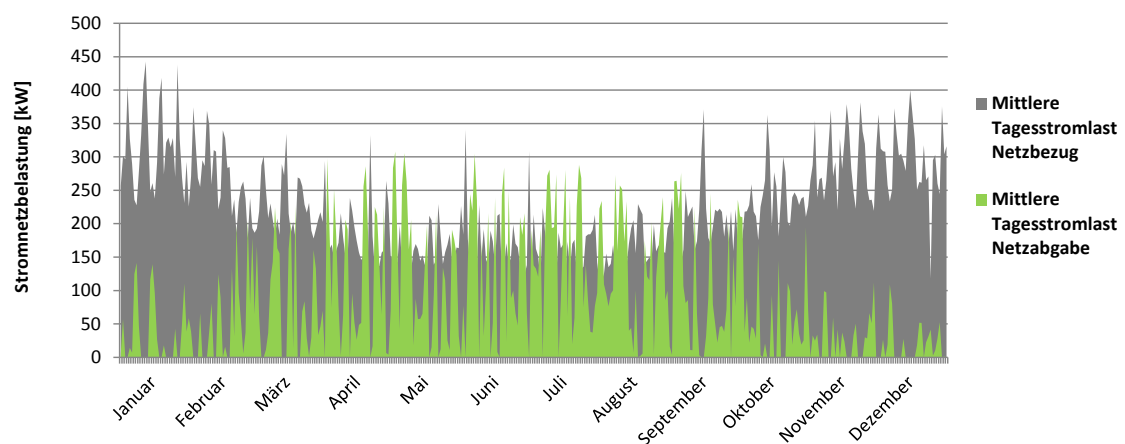


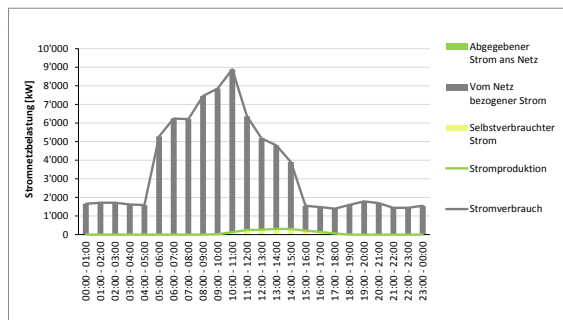
Abbildung 82: Stromnetzbezug (grau) und Stromnetzabgabe (grün) im Teilquartier Mugeren bei 40% der PV-Fläche.



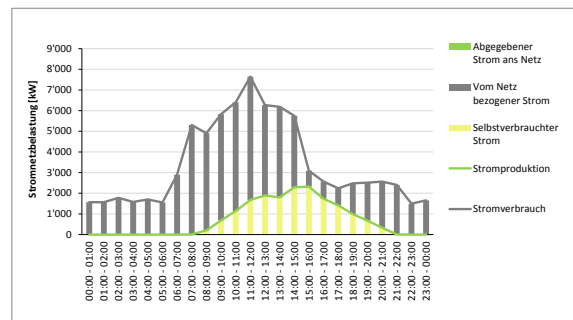
Tages-elektrisches Lastprofil (40% PV-Anteil)

Allmend

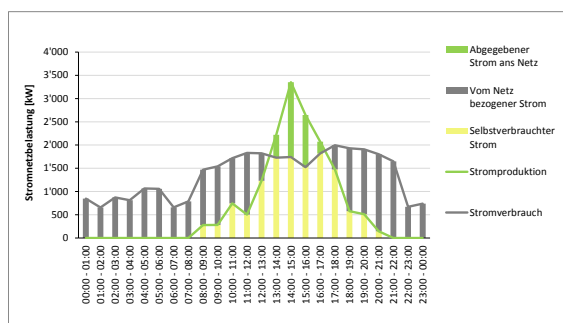
8. Februar (Winter)



8. Mai (Frühling)



8. August (Sommer)



8. November (Herbst)

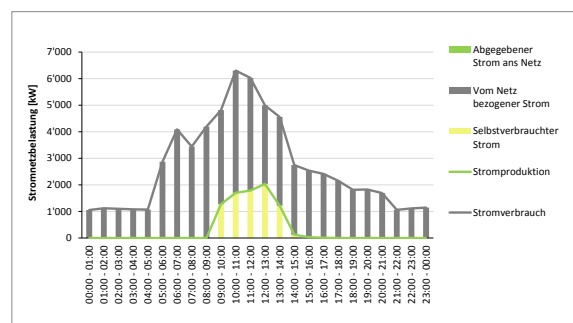
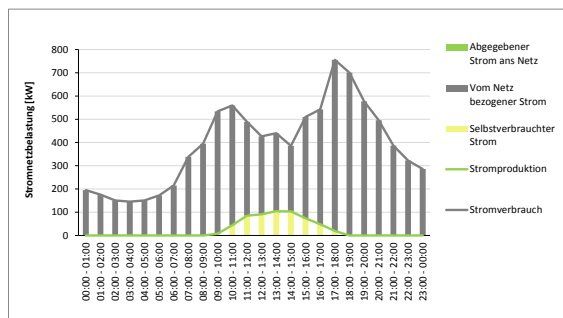


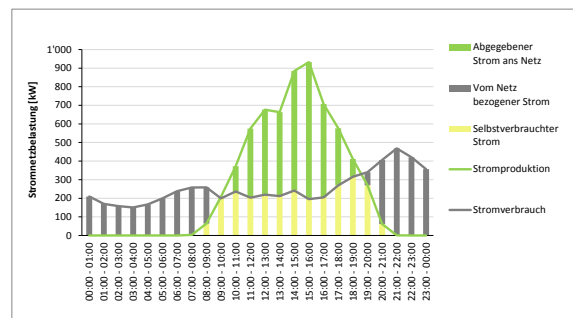
Abbildung 83: Tagesprofil für 4 verschiedene Tage, jeweils 1 Tag pro Saison im Teilquartier Allmend.

Mugeren

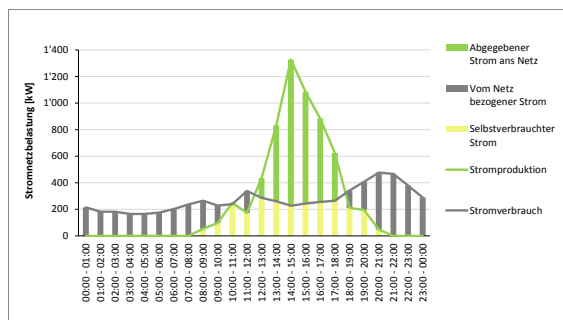
8. Februar (Winter)



8. Mai (Frühling)



8. August (Sommer)



8. November (Herbst)

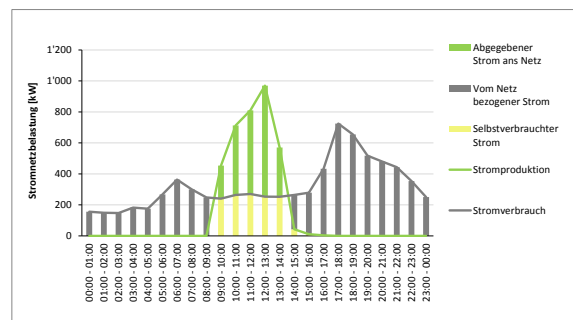
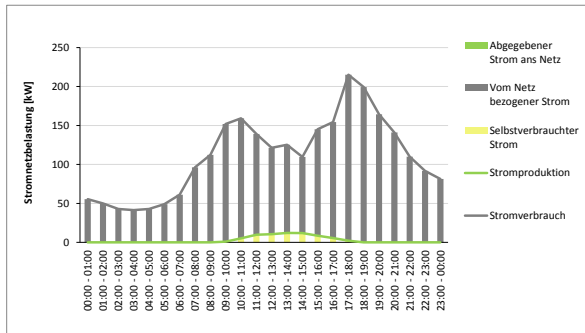


Abbildung 84: Tagesprofil für 4 verschiedene Tage, jeweils 1 Tag pro Saison im Teilquartier Mugeren.

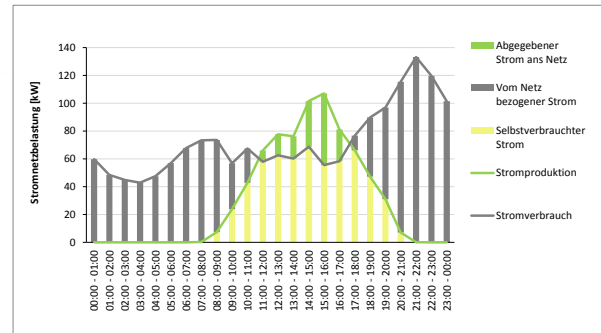


Alpenblick

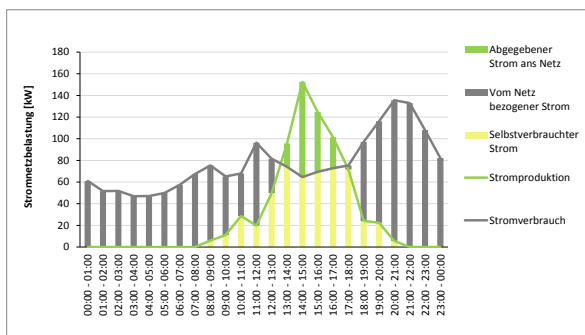
8. Februar (Winter)



8. Mai (Frühling)



8. August (Sommer)



8. November (Herbst)

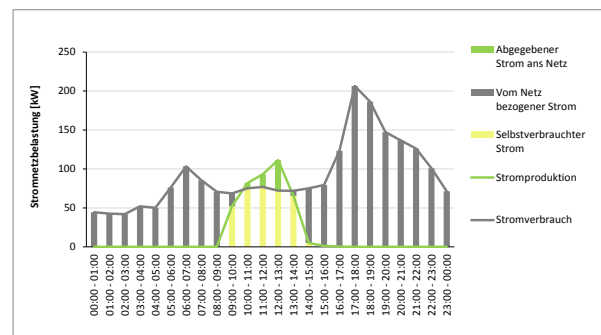


Abbildung 85: Tagesprofil für 4 verschiedene Tage, jeweils 1 Tag pro Saison im Teilquartier Alpenblick.

16 Literaturverzeichnis

- Arnold, H. (15. 04 2013). *energie-und-technik.de*. Abgerufen am 17. 09 2014 von Regelbare Ortsnetztrafos: Die Alternative zum Netzausbau: <http://www.energie-und-technik.de/smart-energy/artikel/96626/>
- ASUE, A. f. (2011). *BHKW-Kenndaten 2011, Module, Anbieter, Kosten*. Frankfurt am Main: Stadt Frankfurt am Main, Energiereferat.
- Bucher, C. (März 2014). Wie viel Solarstrom verträgt das Niederspannungsnetz? Resultate aus hochauflösenden Lastflusssimulationen. *Technologie Smart Grid*, S. 4.
- Degen, K. E. (2013). *Smart Metering, Beratung oder Sozialer Vergleich - Was beeinflusst den Elektrizitätsverbrauch?* Zürich: ewz-Studie.
- Egger, N. K. (2015). *Erdwärme: First come, first serve? Erdwärmesonden im Dichtestress, Ausgabe Nr.9-10*. Zürich: TEC21.
- Equa, S. (2014). *IDA Indoor Climate and Energy Version 4.6*. Abgerufen am 29. 09 2014 von <http://www.equa.ch>
- Gas, B. -D. (22. 11 2011). *Bundesnetzagentur*. Abgerufen am 29. 09 2014 von http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2011/111122_PowerToGas.html
- Göbel V., K. F. (2012). *Raum mit städtischem Charakter - Erläuterungsbericht 2012*. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik (BFS).
- Heeren N., J. M. (Oktober 2009). *Gebäudeparkmodell und SIA Effizienzpfad Energie Dienstleistungs- und Wohngebäude*. Zürich: ETHZ & TEP Energy.
- Hollinger, R. W.-H. (Jan 2013). *Kurzgutachten zur Abschätzung und Einordnung energiewirtschaftlicher, ökonomischer und anderer Effekte bei der Förderung von objektgebundenen elektrochemischen Speichern*. Freiburg im Breisgau: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE .
- Jakob, M. (2008). *Grundlagen zur Wirkungsabschätzung der Energiepolitik der Kantone im Gebäudebereich*. Zürich: BFE.
- Knies, W. (2006). *Elektrische Anlagentechnik, Kraftwerke, Netze, Schaltanlagen, Schutzeinrichtungen*. München: Carl Hanser Verlag.
- Ott, W. P. (2011). *CO2 – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten*. Bern: BFE.
- Power to Gas, W. (29. 09 2014). *Wikipedia*. Abgerufen am 29. 09 2014 von <http://de.wikipedia.org/wiki/Power-to-Gas>
- Schmid, F. T. (2012). *Holzenergieposition der Stadt Zürich, Stadtratsbeschluss vom 12. September 2012 und Beiblatt A-1*. Stadt Zürich.
- Schulze, M. (2012). www.ingenieur.de/Themen/Energiespeicher/Wirkungsgrad-Power-to-Gas-konkurrenzfaehig.
- Steiner, R. e. (2014). *Energieverbunde mit Umweltwärme und Niedertemperaturabwärme*. EnergieSchweiz für Gemeinden.
- Sterner, M. J. (Februar 2011). *Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes*. Kassel: Fraunhofer IWES.
- Struck, C. J. (2014). *Beurteilung des Einflusses des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Schweizer Bürobauten*. Aachen: BauSim 2014.



Urbanizers, B. E. (2014). *www.energetische-stadtsanierung.info*.

Vezzini, A. (2009). *Lithiumionen-Batterien als Speicher für Elektrofahrzeuge*. Bulletin SEV/AES 3/2009.

Zug, G. d. (2014). *ZugMap.ch*. Abgerufen am 10. 06 2014 von <http://www.zugmap.ch/zugmap/BM3.asp>